



TESIS – ME142516

ANALISA PENGARUH ANGKA IODIN TERHADAP EMISI  $\text{NO}_x$   
PADA MOTOR DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR BIODIESEL  
DARI WASTE COOKING OIL DENGAN STANDAR IMO TIER III

OLEH:

FRANCISCO PINTO

04111550048001

DOSEN PEMBIMBING :

Ir. AGUK ZUHDI MUHAMMAD FATHALLAH, M.Eng, Ph.D

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

# **HALAMAN JUDUL**

**TESIS-ME142516**

**JUDUL: ANALISA PENGARUH ANGKA IODIN TERHADAP EMISI  
NO<sub>x</sub> PADA MOTOR DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR  
BIODIESEL DARI WASTE COOKING OIL DENGAN  
STANDAR IMO TIER III**

**OLEH:**

**FRANCISCO PINTO**

**04111550048001**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Ir. AGUK ZUHDI MUHAMMAD FATHALLAH, M.Eng, Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER**

**TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LEMBAR PENGESAHAN

**Judul Tesis: ANALISA PENGARUH ANGKA IODIN TERHADAP EMISI NOX PADA MOTOR DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR BIODIESEL DARI WASTE COOKING OIL DENGAN STANDAR IMO TIER III**

**Oleh : Francisco Pinto**

**NRP : 04111550048001**

**Telah Diujikan pada:**

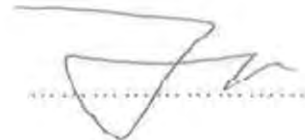
**Hari/Tanggal : Selasa/25 Juli 2017**

**Periode Wisuda : Maret 2018**

**Untuk Mendapat Gelar Magister Teknik (MT) Pada Program Pasca Sarjana  
Teknologi Kelautan-Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

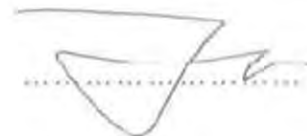
### Dosen Pembimbing

1. Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng. Ph.D  
NIP: 1956 0519 1986 10 1001



### Dosen Penguji

1. Dr. Eddy Setyo K, ST., M.Sc  
NIP: 1968 0701 1995 12 1001
2. Dr. Eng. I Made Ariana, ST. MT  
NIP: 1971 0610 1995 12 1001
3. Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng. Ph.D  
NIP: 1956 0519 1986 10 1001

**Dekan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**


**Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph. D  
NIP: 1961 0702 1988 01 1003**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALISA PENGARUH ANGKA IODIN TERHADAP EMISI NO<sub>x</sub> PADA  
MOTOR DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR BIODIESEL DARI WASTE  
COOKING OIL DENGAN STANDAR IMO TIER III**

Nama : Francisco Pinto

No. KTM : 04111550048001

Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zhudi Muhammad Fathallah M.Eng, Ph.D

**ABSTRAK**

Permasalahan global yang dihadapi dunia dewasa ini adalah semakin menipisnya cadangan bahan bakar yang berbahan baku dari fosil disamping dampak negatif yang ditimbulkan dari penggunaan bahan bakar berbahan baku dari fosil tersebut. Hal ini menjadi dasar untuk mencari bahan bakar alternatif yang salah satunya adalah biodiesel. Bahan baku biodiesel bermacam-macam salah satunya adalah *waste cooking oil* (WCO). WCO merupakan minyak limbah yang berasal dari jenis minyak goreng. Salah satu properties dari biodiesel adalah angka iodin yang mencerminkan ketidakjenuhan asam lemak penyusun minyak dan lemak. Untuk mengendalikan emisi NO<sub>x</sub> terutama pada motor diesel yang digunakan sebagai penggerak utama kendaraan di bidang maritim, maka *Intenational Maritime Organization* (IMO) membuat regulasi yang disebut MARPOL annex VI TIER III. Penelitian ini difokuskan pada nilai angka iodin pada biodiesel (WCO) dan pengaruhnya terhadap performa *engine* dan emisi khususnya NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh motor diesel yang kemudian dikomparasikan dengan standar emisi NO<sub>x</sub> pada IMO TIER III. Dalam penelitian ini menggunakan metode berbasis eksperimen, dengan memvariasikan angka iodin dan variasi komposisi biodiesel dari WCO (B0, B20, dan B30). Pengujian emisi menggunakan *gas analyzer* untuk mendapatkan nilai NO<sub>x</sub>. Bahan bakar yang akan digunakan dalam eksperimen ini solar dex dan biodiesel dari WCO yang berbeda kandungan iodinnya. Dari hasil pengujian diperoleh kesimpulan bahwa angka iodin tidak mempengaruhi daya, torsi, dan BMEP namun mempengaruhi SFOC dan efisiensi thermal pada tingkat beban dan putaran tertentu. Angka iodin mempengaruhi emisi yang dihasilkan oleh *engine*. Semua jenis campuran biodiesel tidak memenuhi standar emisi NO<sub>x</sub> yang ditetapkan oleh IMO TIER III karena berada diatas ambang batas yang ditetapkan.

**Kata Kunci:** Performa, Biodiesel, *Waste Cooking Oil*, Angka Iodin, Emisi, NO<sub>x</sub>. *Diesel Engine*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALYSIS OF EFFECT OF IODINE NUMBERS ON NO<sub>x</sub> EMISSIONS IN DIESEL  
ENGINE WITH BIODIESEL FUELS FROM WASTE COOKING OIL  
WITH IMO TIER III STANDARD**

Name : Francisco Pinto

NRP : 04111550048001

Supervisor : Ir. Aguk Zhudi Muhammad Fathallah M.Eng, Ph.D

**ABSTRACT**

Global problem in the world today is depletion of fuel reserves from fossils and its negative impacts of fossil fuel such as environment influences. This is the base for finding alternative fuels that one of them is biodiesel. There are several kinds of raw materials of biodiesel one of them is waste cooking oil (WCO). WCO is waste oil derived from the type of cooking oil. One of the properties of biodiesel is the iodine number that reflects the unsaturation of fatty acids that make up oil and fat. To control NO<sub>x</sub> emissions, notably on diesel engine used as the main propulsion in the marine field, that the International Maritime Organization (IMO) established a regulation called MARPOL annex VI TIER III. This research is focused on the value of iodine number on biodiesel (WCO) and its effect on engine performance and emission especially NO<sub>x</sub> generated by diesel engine then compared with NO<sub>x</sub> emission standard on IMO TIER III. This study is using experiment-based method, by varying the iodine number and variation of biodiesel composition of WCO (B0, B20, and B30). Emission test using gas analyzer to get NO<sub>x</sub> value. The fuel to be used in this experiment is solar dex and biodiesel from WCO with different iodine content. From the test results it can be concluded that the iodine number does not affect for power, torque, and BMEP but affects for SFOC and thermal efficiency at certain load and speeds levels. The iodine number affects for emissions generated by the engine. All types of biodiesel blends are not complied the NO<sub>x</sub> emission standard required by IMO TIER III because they are above a set threshold.

**Keywords:** Performance, Biodiesel, Waste Cooking Oil, Iodine Number, Emission, NO<sub>x</sub>. Diesel Engine



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas anugrah dan rahmat-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Analisa Pengaruh Angka Iodin Terhadap Emisi NOx Pada Motor Diesel Dengan Bahan Bakar Biodiesel Dari Waste Cooking Oil Dengan Standar IMO TIER III”. Tesis ini merupakan tugas akhir masa studi dan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Program Pascasarjana Teknologi Kelautan ITS Surabaya.

Dalam proses penyusunan tesis ini tidak terlepas dari dukungan dan doa serta bantuan baik moril maupun materiil yang secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak, oleh karenanya pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang setinggi-tingginya kepada:

- Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas karunya-NYA penulis dapat dapat menyelesaikan proses perkuliahan dan menyelesaikan tesis ini.
- Kementerian Pendidikan Timor Leste yang telah memberi kesempatan dan membiayai proses perkuliahan hingga purna.
- Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang telah menerima penulis untuk menempa ilmu.
- Keluarga tercinta istriku Joana Amaral, L.Ed, Anakku Gentilityo N.C. Jofra Pinto dan Gentilitya A.C.A Jofra Pinto atas dukungan, kesabaran dan doanya selama ini.
- Bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M. Eng, PhD. Selaku dosen pembimbing yang telah bersedia dan meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, memberi motivasi dan ilmu kepada penulis sehingga penulis dapat menyusun tesis ini.
- Bapak Dr. RO. Saut Gurning ST.,M.Sc, C.Eng, MIMarEST sebagai dosen wali sekaligus sebagai Ketua Kaprodi Pascasarjana Sistem dan Pengendalian Kelautan yang telah dengan sabar dan kemurahan hati membimbing penulis sampai purna.
- Bapak Professor Semin Sanuri ST.MT.PhD, bapak Dr.Eng Trika Pitana, ST, M.Sc, bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah M.Eng, PhD, bapak Dr. Ir A.A. Masroeri, M.Eng, bapak Dr. Eng. I Made Ariana, ST, MT, bapak Sutopo Purwono Fitri ST, M.Eng, PhD, bapak Ir. Sardono Sarwito M.Sc, bapak Dr. Eng. Dhimas Widhi Hamdani, ST, M.Sc, bapak Dr. Eddy Setyo K. ST. MSc, beserta segenap dosen pengajar PPsTK yang telah meluangkan waktu untuk berbagi ilmu kepada penulis, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan mendapat balasan dari Yang Maha Kuasa dengan kebaikan yang setimpal dan menjadi amal di akhirat kelak.
- Bapak Beny Cahyono ST. MT. Ph.D selaku Kepala Laboratorium MPP dan segenap jajarannya yang telah memberi izin kepada penulis untuk melakukan penelitian di laboratorium MPP, karyawan dan tenaga pendidik di lingkungan PPsTK, bapak Sunyoto, Bapak Hasan dan bapak-bapak, ibu-ibu di jajaran manajemen PPsTK, bapak Nur selaku teknisi di Lab MPP yang telah banyak membantu penulis dalam pengambilan data, Bapak Lutfi yang ada di Lab Energi Robotika dan semua pihak yang selama ini banyak membantu kelancaran proses belajar kami, semoga menjadi amal yang dicatat oleh Yang maha Kuasa mendapat balasan setimpal.

- Segenap teman seangkatan bapak Hadi Prasutyion ST,MT, yang banyak membantu baik moril maupun materiil, dan kakak angkatan mbak Nilam, mbak Ayu, mbak Emy, bapak Cahya Kusuma ST,MT, bapak Mahendra ST,MT dan adik angkatan bapak Edi, bapak Darmawan, mbak Putri, mas Gusma yang telah banyak membantu penulis dalam pengolahan data, mas Rudianto, mas Danang Cahyagi dkk, yang banyak membantu dan support atas kelancaran proses perkuliahan penulis.
- Semua pihak yang berjasa membantu dalam menyelesaikan proses perkuliahan penulis yang tidak disebutkan satu-persatu, terimakasih atas bantuannya selama ini.

Semoga beliau-beliau yang disebutkan, kebbaikannya dibalas oleh Yang Maha Kuasa dan dipermudah segala aktivitas dalam kehidupannya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih jauh dari sempurna, baik dalam bahasan materi maupun dalam teknik penyusunan tesis ini, untuk itu penulis dengan segala kerendahan hati menerima saran dan kritik dari semua pihak demi kesempurnaan tesis ini. Akhirnya penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
 BAB I PENFAHULUAN .....	 1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat penelitian .....	3
1.6 Hipotesa .....	3
1.7 Sistematika penulisan .....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	 6
2.1 Telaah Pustaka .....	6
2.2 Karakteristik Biodiesel .....	8
2.3 Standar Biodiesel .....	11
2.3.1 Standar Biodiesel Eropa .....	11
2.3.2 Standar Biodiesel Amerika Serikat .....	12
2.3.3 Standar Biodiesel Indonesia .....	13
2.4 <i>Waste Cooking Oil</i> .....	14
2.5 Angka Iodin .....	16
2.6 Regulasi Emisi .....	16
2.7 Performa Motor Diesel .....	19
2.8 <i>State of Art</i> ( Peta Jalan penelitian) .....	20
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	 23
3.1 Identifikasi Masalah .....	24

3.2 Studi Literatur .....	24
3.3 <i>Engine Setup</i> .....	24
3.4 Variabel Angka iodin .....	24
3.5 Bahan Bakar .....	25
3.6 Pengujian .....	26
3.6.1 Pengujian Properties Biodiesel .....	26
3.6.2 Pengujian Performa .....	26
3.6.3 Pengujian NOx .....	27
3.7 Pengumpulan data .....	27
3.8 Analisa Data dan pembahasan .....	27
3.9 Kesimpulan .....	28
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	30
4.1 Properties Biodiesel <i>Waste Cooking Oil</i> .....	30
4.2 Kandungan <i>Iodin Number</i> .....	30
4.3 Pengaruh Angka Iodin Terhadap Performa Motor Diesel .....	31
4.3.1 Pengaruh Angka Iodin terhadap Daya .....	31
4.3.2 Pengaruh Angka Iodin terhadap Torsi .....	32
4.3.3 Pengaruh Angka Iodin Terhadap SFOC .....	33
4.3.4 Pengaruh Angka Iodin Terhadap BMEP .....	34
4.3.5 Pengaruh Angka Iodin Terhadap Efisiensi Thermal .....	35
4.4 Pengaruh Angka Iodin Terhadap Emisi .....	36
4.4.1 Pengaruh Angka Iodin terhadap CO .....	37
4.4.2 Pengaruh Angka Iodin Terhadap CO <sub>2</sub> .....	38
4.4.3 Pengaruh Angka Iodin Terhadap NOx .....	39
4.5 Perbandingan Emisi NOx Antara Biodiesel dengan Standar IMO TIER III .....	40
4.5.1 Pengujian emisi NOx Pada Beban 25% .....	41
4.5.2 Pengujian emisi NOx Pada Beban 50% .....	42
4.5.3 Pengujian emisi NOx Pada Beban 75% .....	43
4.5.4 Pengujian emisi NOx Pada Beban 100 .....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	47
5.1 Kesimpulan .....	47
5.2 Saran .....	48
DAFTAR PUSTAKA .....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram proses transesterifikasi .....	7
Gambar 2.2 Persamaan reaksi untuk menghasilkan bahan bakar biodiesel .....	7
Gambar 2.3 <i>MARPOL annex VI</i> batasan emisi NO <sub>x</sub> .....	18
Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian .....	23
Gambar 3.2 Diagram blok <i>engine setup</i> .....	24
Gambar 3.3 Iodin kalium iodat .....	25
Gambar 4.1 Grafik daya yang dihasilkan oleh <i>engine</i> di beban maksimum pada setiap tingkat putaran .....	32
Gambar 4.2 Grafik perbandingan antara daya dengan torsi di beban maksimum pada setiap tingkat putaran .....	33
Gambar 4.3 Grafik perbandingan antara daya dengan SFOC di beban maksimum pada setiap tingkat putaran .....	34
Gambar 4.4 Grafik perbandingan antara daya dengan BMEP di beban maksimum pada setiap tingkat putaran .....	35
Gambar 4.5 Grafik perbandingan antara daya dengan efisiensi thermal di beban maksimum pada setiap tingkat putaran .....	36
Gambar 4.6 Grafik konsentrasi CO dari varian bahan bakar pada masing-masing beban ....	37
Gambar 4.7 Grafik konsentrasi CO <sub>2</sub> dari varian bahan bakar pada masing-masing beban ...	38
Gambar 4.8 Grafik konsentrasi NO <sub>x</sub> dari varian bahan bakar pada masing-masing beban ..	39
Gambar 4.9 Berat NO <sub>x</sub> pada beban 25% .....	41
Gambar 4.10 Berat NO <sub>x</sub> pada beban 50% .....	42
Gambar 4.11 Berat NO <sub>x</sub> pada beban 75% .....	43
Gambar 4.12 Berat NO <sub>x</sub> pada beban 100% .....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi biodiesel Eropa .....	11
Tabel 2.2 Spesifikasi biodiesel (B100) ASTM D6751-12 .....	12
Tabel 2.3 Spesifikasi standar biodiesel Indonesia .....	13
Tabel 2.4 Komposisi spesifikasi biodiesel dunia .....	14
Tabel 2.5 <i>MARPOL annex VI</i> batasan emisi NO <sub>x</sub> .....	18
Tabel 3.1 <i>MARPOL annex VI, appendix II test cycle</i> .....	27
Tabel 4.1 Hasil pengujian properties biodiesel .....	30
Tabel 4.2 Hasil pengujian angka iodin pada biodiesel .....	31
Tabel 4.3 Perubahan emisi NO <sub>x</sub> berdasarkan beban .....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Hasil Pengujian Performa *Engine*
  - 1.1 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar B0
  - 1.2 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BA1
  - 1.3 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BA2
  - 1.4 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BB1
  - 1.5 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BB2
  - 1.6 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BC2
  - 1.7 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BC2
2. Hasil Pengujian Emisi
3. Hasil Pengolahan Data Performa *Engine*
  - 3.1 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar B0
  - 3.2 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BA1
  - 3.3 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BA2
  - 3.4 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BB1
  - 3.5 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BB2
  - 3.6 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BC1
  - 3.7 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BC2
4. Grafik SFOC VS Daya pada Setiap Tingkat Beban dan Setiap Tingkat Putaran
  - 4.1 Gambar grafik SFOC VS daya pada RPM 1800
  - 4.2 Gambar grafik SFOC VS daya pada RPM 1900
  - 4.3 Gambar grafik SFOC VS daya pada RPM 2000
  - 4.4 Gambar grafik SFOC VS daya pada RPM 2100
  - 4.5 Gambar grafik SFOC VS daya pada RPM 2200
5. Grafik Efisiensi Thermal VS Daya pada Setiap Tingkat beban dan Setiap Tingkat Putaran
  - 5.1 Gambar grafik efisiensi thermal VS Daya pada RPM 1800
  - 5.2 Gambar grafik efisiensi thermal VS Daya pada RPM 1900
  - 5.3 Gambar grafik efisiensi thermal VS Daya pada RPM 2000
  - 5.4 Gambar grafik efisiensi thermal VS Daya pada RPM 2100
  - 5.5 Gambar grafik efisiensi thermal VS Daya pada RPM 1800



*(halaman ini sengaja di kosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Krisis bahan bakar untuk motor diesel yang berasal dari minyak bumi (fosil) merupakan isu terbesar yang terjadi secara global. Untuk merespon isu tersebut adalah dengan menggunakan bahan bakar alternatif yang salah satunya adalah biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang kini semakin berkembang dan dapat mengurangi pemakaian bahan bakar fosil.

Pengembangan biodiesel selain memecahkan masalah penyediaan energi di dunia, juga merupakan harapan di masa mendatang karena biodiesel berbasis pertanian yang tidak akan habis selama masih ada yang menanam bahan bakunya. Biodiesel juga ramah lingkungan dan dapat diproduksi oleh perorangan maupun unit usaha kecil sebab teknologi yang diterapkan relatif sederhana dan tidak memerlukan teknologi yang canggih. Bahan baku untuk membuat biodiesel cukup banyak, di antaranya adalah kelapa sawit, kelapa, biji-bijian, kacang-kacangan, jarak kepyar, jarak pagar, minyak jelantah dan lain-lain.

*Waste cooking oil* (minyak jelantah) merupakan salah satu bahan baku yang potensial karena minyak goreng digunakan oleh setiap lapisan masyarakat mulai dari tingkat ekonomi rendah sampai yang tinggi dan dari rumah tangga sampai hotel-hotel. Dalam dunia kedokteran, penggunaan minyak jelantah direkomendasi maksimum empat kali. Hal ini karena minyak jelantah bersifat karsinogenik yang akan menimbulkan bahaya kanker bagi yang mengkonsumsinya.

Permasalahannya ketika menggunakan bahan bakar biodiesel adalah kandungan atau *properties* dari pada biodiesel itu sendiri. Salah satu kandungan pada biodiesel adalah angka iodin. Selain itu viskositas dan titik bakar dari biodiesel yang lebih tinggi dari pada minyak solar dengan demikian kedua sifat biodiesel tersebut perlu diturunkan agar cocok menjadi bahan bakar. Selain itu, kandungan asam tak jenuh dalam biodiesel (yang dinyatakan dengan jumlah iodin) meningkatkan risiko polimerisasi dalam minyak pelumas motor diesel.

Hampir semua komponen bahan kimia yang ada dalam biodiesel lebih rendah dibandingkan dengan petro diesel (solar). Biodiesel tidak mengandung senyawa SO<sub>2</sub> (0 ppm), Walaupun ada nilainya relatif kecil (kurang dari 15 ppm), selain itu emisi karbon monoksida (CO) yang

dihasilkan cukup rendah. Terdapat gas buang mesin (*engine*) terutama terdiri dari senyawa yang tidak berbahaya seperti nitrogen, karbon dioksida dan uap air, namun demikian di dalamnya terkandung juga senyawa lain dengan jumlah yang cukup besar yang dapat membahayakan kesehatan maupun lingkungan. Bahan pencemar yang terdapat di dalam gas buang motor diesel adalah karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidro karbon, dan berbagai oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>). Bahan bakar tertentu seperti hidro karbon dilepaskan ke udara karena adanya penguapan dari sistem bahan bakar. Setelah berada diudara, beberapa senyawa yang terkandung dalam gas buang pada mesin dapat berubah karena terjadinya suatu reaksi, misalnya dengan sinar matahari dan uap air, atau juga antara senyawa-senyawa tersebut satu sama lain.

Senyawa-senyawa di dalam gas buang terbentuk selama energi diproduksi untuk keperluan beroperasinya *engine*. Beberapa senyawa yang dinyatakan dapat membahayakan kesehatan adalah berbagai oksida sulfur, oksida nitrogen, oksida karbon, hidrokarbon, dan partikular. Pembentukan gas buang tersebut terjadi selama pembakaran bahan bakar solar di dalam motor diesel.

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang memiliki karakteristik yang berbeda dengan bahan bakar lainnya, oleh sebab itu perlu adanya eksperimen tentang emisi dan studi kelayakan yang berkaitan dengan efek rumah kaca ketika digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil pada motor diesel. Pada penelitian ini akan digunakan biodiesel dari *waste cooking oil* (minyak jelantah) masing-masing dengan komposisi 0%, 20%, dan 30% atau biasa disebut B0, B20, dan B30. Selain komposisi tersebut juga akan memvariasikan angka iodin yaitu masing-masing 0 gram, 10 gram dan 20 gram.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Perumusan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh angka iodin pada biodiesel dari *waste cooking oil* terhadap performa motor diesel?
2. Bagaimana pengaruh angka iodin pada biodiesel berbahan baku *waste cooking oil* terhadap emisi NO<sub>x</sub> ?
3. Apakah motor diesel standar berbahan bakar biodiesel dari *waste cooking oil* dapat memenuhi peraturan IMO ANNEX VI TIER III?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak menganalisa dari segi ekonomi.
2. Motor diesel yang digunakan yaitu YANMAR TF 85 MH-di 493cc

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh angka iodin pada biodiesel dari *waste cooking oil* terhadap performa motor diesel.
2. Mengetahui pengaruh angka iodin pada biodiesel berbahan baku *waste cooking oil* terhadap emisi NO<sub>x</sub> pada motor diesel.
3. Mengetahui apakah motor diesel standar dengan bahan bakar biodiesel berbahan baku *waste cooking oil* dapat memenuhi peraturan IMO ANNEX VI TIER III.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kepada masyarakat luas mengenai bahan bakar alternatif yang renewable dan ramah lingkungan sebagai penunjang krisis bahan bakar fosil di masa yang akan datang.
2. Memberikan pengetahuan kepada masyarakat luas mengenai kekurangan atau efek dari penggunaan bahan bakar biodiesel berbahan baku dari *waste cooking oil*.

### 1.6 Hipotesa

Dalam proses penelitian ini akan diperoleh data-data sebagai input untuk dianalisa dan diolah guna menentukan pengaruh penambahan biodiesel pada minyak solar dengan prosentasi 0%:100% (B0), 20%:80% (B20), 30%:70% (B30) dan pengaruh besarnya penambahan pada berbagai varian iodin pada biodiesel terhadap performansi dan emisi NO<sub>x</sub>, kemudian dilakukan komparasi dengan bahan bakar murni tanpa penambahan biodiesel.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang diterapkan untuk menyajikan gambaran singkat mengenai alur pembahasasan pada penelitian ini sehingga akan diperoleh gambaran yang jelas tentang urutan penulisan. Tesis ini terdiri dari lima bab yaitu:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, hipotesa dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisi dasar teori dan kajian referensi tentang permasalahan yang berhubungan dengan ketersediaan dan dampak bahan alternatif biodiesel yang berbahan baku dari WCO yang meliputi teori tentang biodiesel, standar biodiesel, kandungan iodin, performansi motor dengan menggunakan biodiesel sebagai bahan bakarnya dan regulasi emisi gas buang.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini terdiri dari metode serta diagram alir yang digunakan dalam proses pelaksanaan penelitian dan penyusunan tesis. Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah strategis yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini dijelaskan alur inti penelitian mengenai pengaruh penggunaan campuran bahan bakar dari biodiesel berbahan baku WCO dengan bahan bakar solar pada berbagai kandungan varian iodin terhadap performansi dan emisi NO<sub>x</sub>. Hasil penelitian dibahas dalam bentuk tabel dan grafik berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan.

### **BAB V PENUTUP**

Bab penutup terdiri dari kesimpulan dari seluruh proses penelitian dan saran terhadap penelitian lanjutan bilamana dilakukan studi lanjut dimasa mendatang.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Telaah Pustaka

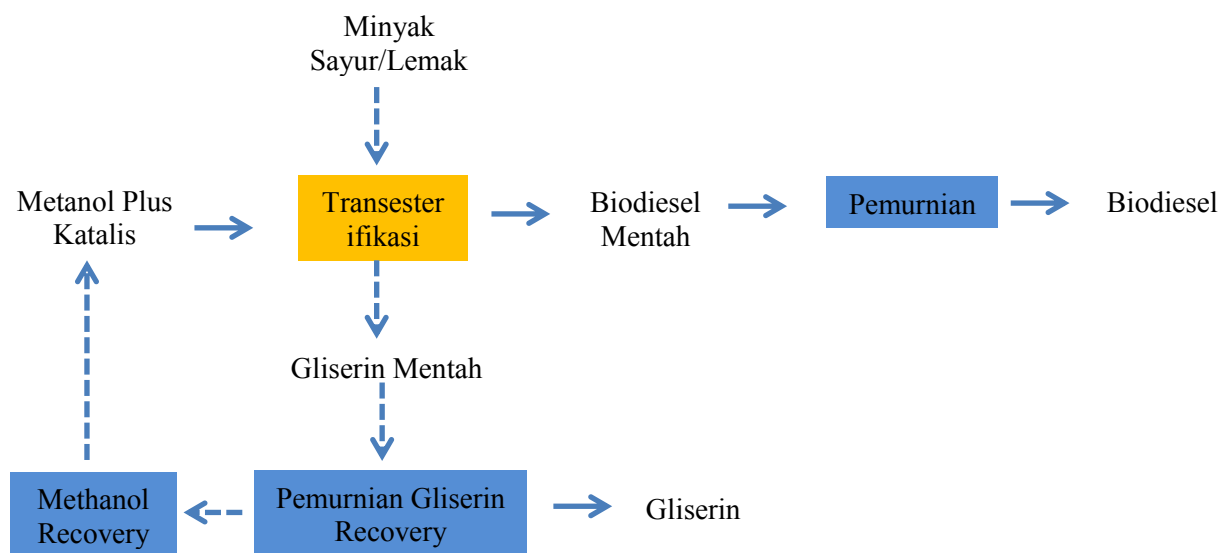
Permasalahan global yang dihadapi dunia pada dewasa ini adalah semakin menipisnya cadangan bahan bakar yang berbahan baku dari fosil, disamping dampak negatif yang ditimbulkan dari penggunaan bahan bakar berbahan baku dari fosil tersebut. Hal ini menjadi dasar yang telah mendorong manusia untuk berusaha mencari bahan bakar alternatif yang diharapkan mampu mengatasi kedua permasalahan tersebut. Salah satu jenis bahan bakar alternatif yang dianggap dapat menggantikan bahan bakar minyak yang digunakan pada motor diesel adalah Biodiesel.

Bahan baku biodiesel bermacam-macam, yang umum digunakan adalah minyak sayur yang berasal dari kelapa sawit, kacang kedelai, minyak kanola (*rapessed*) atau bunga matahari. Selain itu terdapat alternatif bahan baku biodiesel yang lain walaupun saat ini belum terlalu populer seperti lemak binatang, minyak goreng bekas dan lain-lain (Choerniadi, 2015).

Sebelum digunakan sebagai biodiesel, minyak yang sebagai bahan bakar yang diperoleh dari berbagai jenis bahan baku perlu diesterifikasi terlebih dahulu untuk menurunkan viskositas dan *flash point* nya, karena tanpa dilakukan proses pendahuluan esterifikasi tidak cocok digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin-mesin kompresi karena viskositasnya terlalu kental dan cenderung akan cepat membeku atau menggumpal atau berubah menjadi *gel* di karter (*crank case*) maupun di tangki bahan bakar. Disamping itu pembakarannya juga cenderung kurang sempurna sehingga menyebabkan timbulnya deposit pada silinder mesin dan *nozzle* pada injektor (Choerniadi, 2015). Proses transesterifikasi dari bahan baku menjadi bahan bakar biodiesel seperti terlihat pada gambar 2.1.

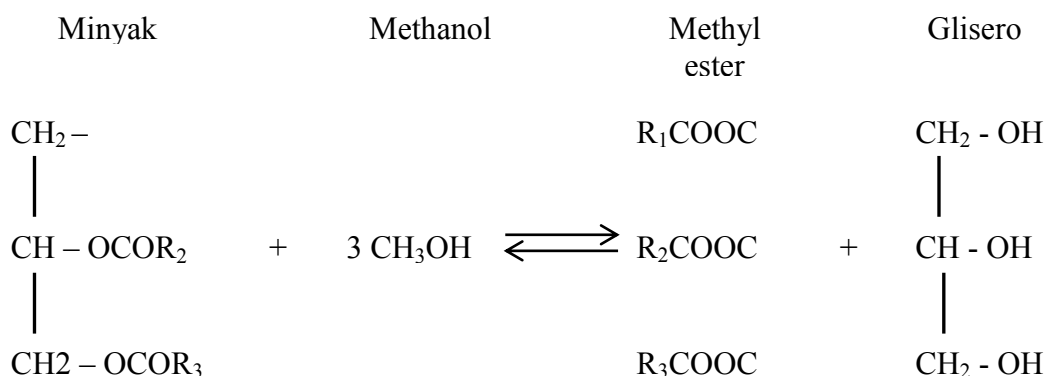
Senyawa kimia dalam minyak yang diekstrak dari berbagai jenis bahan baku yang dapat diolah menjadi biodiesel adalah *trigliserida*. Moleku-molekul penyusun utamanya merupakan kombinasi antara berbagai jenis asam organik dan gliserol. Panjang rantai karbon minyak sayur yang dikenai proses esterifikasi antara 16 sampai 22 atom karbon dan dalam bentuk *triacyl glyceride* (TAG). Proses esterifikasi yang disebut transesterifikasi merupakan proses yang bertujuan untuk menghasilkan biodiesel yang dikenakan terhadap bahan baku trigliserida dengan menggunakan alkohol dengan bantuan katalisator untuk menghasilkan *ethyl* atau *methyl ester* bersama dengan *gliserol* bebas sebagai produk samping. Gliserolnya

dihilangkan dan alkohol sisa didaur ulang. Alkohol yang digunakan pada umumnya adalah *methanol*. *Methyl ester* minyak sayur itulah yang pada umumnya disebut biodiesel dan menjadi kandidat utama alternatif bahan bakar diesel. Oleh karena itu nama kimia yang umum untuk biodiesel yang diperoleh dengan proses esterifikasi ini disebut sebagai *Fatty Acid Methyl Ester*. (Choerniadi, 2105). Persamaan reaksi untuk menghasilkan bahan bakar biodiesel ini dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.1. Diagram Proses Transesterifikasi  
Sumber: National Renewable Energy Laboratory

Methanol diperoleh dari proses sintesa antara gas karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H<sub>2</sub>). Gas-gas tersebut berasal dari gas alam metana, oleh karena itu metanol merupakan sumber bahan baku yang tidak terbarukan. Metanol pada umumnya digunakan untuk pembuatan *formaldehid*, asam asetat metil terephalat yang digunakan untuk bahan bakar. Sedangkan katalis yang digunakan bisa asam, basa atau yang lain. Katalis asam tidak banyak digunakan karena tidak terlalu aktif dan bisa menyebabkan korosi pada instalasinya, katalis yang paling banyak digunakan adalah katalis basa terutama soda dan sodium metalit (Choerniadi, 2015).



Gambar 2.2 Persamaan Reaksi untuk Menghasilkan Bahan Bakar Biodiesel (Choiniadi, 2015)



Pada saat menggunakan biodiesel sebagai bahan bakar pada motor diesel tidak diperlukan penyesuaian pada mesin, namun demikian karena kandungan energinya lebih rendah dari pada bahan bakar diesel dari fosil, maka konsumsi bahan bakar juga relatif sedikit lebih boros. Saat ini produser terbesar dan utama biodiesel adalah Uni Eropa, bahan baku utama yang digunakan untuk memproduksi biodiesel adalah *rapeseed* (Choeriniadi, 2015).

## **2.2 Karakteristik Biodiesel**

Secara umum biodiesel ester dan bahan bakarnya dikenali dari karakteristik fisika seperti viskositas, densitas, angka iodin, angka asam, titik tuang, titik kabut dan lain-lain.

### **Viskositas**

Viskositas (*Viscosity*) merupakan ukuran kekentalan yang menyatakan besar kecilnya gesekan didalam fluida. Pada motor diesel viskositas berpengaruh pada kemudahan bahan bakar untuk mengalir di dalam saluran bahan bakar, pompa, dan injektor. Semakin rendah viskositas bahan bakar, maka semakin mudah bahan bakar tersebut mengalir.

Viskositas biodiesel yang terlalu rendah akan rentang menyebabkan terjadinya kebocoran pada pompa dan injektor bahan bakar. Oleh karena itu viskositas minimum ditetapkan untuk mencegah *power loss* akibat kebocoran pompa dan injektor. Sedangkan viskositas biodiesel yang terlalu tinggi (kental) akan menyebabkan pemompaan bahan bakar menjadi berat sehingga dapat menghambat suplai bahan bakar pada sistem. Viskositas biodiesel pada 40°C memiliki batas nilai maksimum 6.0 mm<sup>2</sup>/s dan batas nilai minimum 2,3 mm<sup>2</sup>/s.

### **Densitas**

Berat jenis (*density*) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat (kg) per satuan volume (m<sup>3</sup>) bahan bakar. Berat jenis dapat dipengaruhi oleh perubahan temperature dan tekanan yang dialami oleh bahan bakar biodiesel. Semakin tinggi tekanan yang dialami bahan bakar biodiesel maka berat jenisnya semakin tinggi. Sedangkan semakin tinggi temperatur yang dialami bahan bakar biodiesel maka berat jenisnya semakin menurun.

### **Titik nyala**

Titik nyala (*flash point*) adalah temperatur terendah suatu bahan bakar yang pada saat dipanaskan, maka uap yang bercampur dengan udara dari hasil pemanasan tersebut akan menyala bila diberikan kompresi yang tinggi. Titik nyala pada standard biodiesel memiliki

batas nilai minimal 100°C. *Flash point* merupakan salah satu parameter biodiesel yang penting apalagi pada saat biodiesel tersebut digunakan sebagai bahan bakar (Choeniadi, 2015).

### **Bilangan Setana**

Bilangan Setana (*cetane number*) adalah suatu indeks yang biasa digunakan bagi bahan bakar motor diesel, untuk menunjukkan tingkat kepekaannya terhadap detonasi (ledakan). Bahan bakar dengan bilangan setana yang tinggi akan mudah berdetonasi pada motor diesel.

Bilangan setana bahan bakar ringan untuk motor diesel putaran tinggi berkisar diantara 40 sampai 60. Bilangan setana bukan untuk menyatakan kualitas dari bahan bakar diesel, tetapi bilangan yang dipakai untuk menyatakan kualitas dari penyalaan bahan bakar diesel atau ukuran untuk menyatakan keterlambatan pengapian dari bahan bakar itu sendiri. Ini adalah periode waktu antara awal injeksi dan mulai pembakaran (ignition) dari bahan bakar. Dalam mesin diesel tertentu, bahan bakar dengan Setana yang lebih tinggi akan memiliki periode penundaan pengapian lebih pendek daripada bahan bakar dengan setana yang lebih rendah.

### **Angka Iodin**

Angka iodin (*iodine number*) merupakan suatu besaran untuk mengukur derajat ketidakjenuhan dalam asam lemak. Ini dinyatakan dengan jumlah gram iodin yang diserap oleh 100 g lemak. Bilangan iodin tergantung pada jumlah asam lemak tidak jenuh dalam minyak.

### **Titik Kabut**

Titik kabut (*cloud point*) adalah temperature mulai terbentuknya kabut Kristal di dalam bahan bakar. Kenampakan kabut berkaitan dengan mulai mengendapnya Kristal pada bahan bakar tersebut, Biodiesel mempunyai titik kabut yang lebih tinggi sehingga berpotensi mempengaruhi operasi temperature rendah (Choerniadi, 2015).

### **Titik Tuang**

Titik tuang (*Pour point*) merupakan batas temperatur tuang dimana mulai terbentuk kristal-kristal paraffin yang dapat menyumbat saluran bahan bakar dan injektor. Pada titik tuang yang tinggi bahan bakar tidak dapat mengalir sempurna dan tidak akan terjadi atomisasi yang

baik ketika diinjeksikan ke ruang bakar motor diesel. Oleh karena itu kandungan properties dari biodiesel sebagai pengganti minyak solar harus diperhatikan akan kualitasnya.

### **Kadar Abu**

Kadar abu (*ash content*) merupakan komponen anorganik bahan yang tertinggal pada pemanasan 700°C. Kadar abu arang aktif diuji untuk mengetahui kandungan oksida logam dalam bahan. Tingginya kadar abu pada arang aktif dapat mempengaruhi daya adsorpsi baik terhadap larutan maupun gas. Abu yang terbentuk disebabkan karena bahan memiliki unsur mineral seperti kalsium, kalium, natrium, dan magnesium. Kandungan tersebut menyebar dalam kisi arang aktif sehingga menutupi pori arang aktif.

### ***Lower Heating Value (LHV)***

Nilai panas (nilai pembakaran) atau HV (*Heating Value*) adalah jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1 kg bahan bakar bila bahan bakar tersebut dibakar. Pada gas hasil pembakaran terdapat H<sub>2</sub>O dalam bentuk uap atau cairan. Nilai kalor biasanya digunakan pada bahan bakar dan merupakan karakteristik dari bahan bakar tersebut. Terdapat dua macam nilai pembakaran yaitu nilai pembakaran atas atau *Higher Heating Value* (HHV) dan nilai pembakaran bawah atau *Lower Heating Value* (LHV). HHV merupakan nilai pembakaran yang bila di dalam gas hasil pembakaran terdapat H<sub>2</sub>O berbentuk cairan, sedangkan LHV yaitu nilai pembakaran yang bila di dalam gas hasil pembakaran terdapat H<sub>2</sub>O berbentuk gas.

### **Kadar Air**

Kadar air (*water content*) adalah sejumlah air yang terkandung di dalam biodiesel, air yang kemungkinan terkandung dalam biodiesel ini berasal dari pencucian yang dilakukan pada saat proses pembuatan biodiesel. Persentase kandungan air suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah (*wet basis*) atau berdasarkan berat kering (*dry basis*).

Air dapat menyebabkan korosi pada tangki dan peralatan. Bila ada deterjen, air juga dapat membentuk emulsi. Selain itu keberadaan air dapat mempercepat pertumbuhan mikroorganisme pada system pembakaran (Choesniadi, 2015).

### **Destilasi**

Distilasi atau penyulingan (*Distillation*) adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan. Dalam

penyulingan, campuran zat dididihkan sehingga menguap, zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu. Pada suatu larutan, masing-masing komponen akan menguap pada titik didihnya. Model ideal distilasi didasarkan pada Hukum Raoult dan Hukum Dalton.

## Angka Asam

Angka asam (*acid number*) adalah jumlah atau besarnya kandungan asam lemak bebas dalam biodiesel. Asam lemak bebas merupakan produk degradasi alami lemak dan minyak. Jika biodiesel mengalami kerusakan akibat oksidasi atau proses produksinya kurang tepat maka angka asamnya akan naik. Angka asam yang lebih tinggi akan menimbulkan masalah deposit pada system bahan bakar, berkurangnya umur pompa bahan bakar dan filter serta meningkatnya korosi.

## 2.3 Standar Biodiesel

Standar yang ditetapkan di dunia untuk mengatur kualitas biodiesel cukup banyak, diantara sedemikian banyak hanya terdapat beberapa standar saja yang dikenal dan digunakan luas serta mempunyai pengaruh besar terhadap standar-standar diberbagai negara dan sering digunakan sebagai standar kualitas maupun standar perdagangan internasional antar negara.

### 2.3.1 Standar Biodiesel Eropa

Tabel 2.1 Spesifikasi Biodiesel Eropa EN 14214:2002 (Choerniadi, 2015)

EN 14214-Properti	Units	Lower Limit	Upper Limit	Test Method
Ester content	% (m/m)	96,5	-	EN14103
Density at 15°C	Kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675/EN ISO 12185
Viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,5	5,0	EN ISO 3104
Flash Point	°C	>101	-	ISO 3679
Sulfur content	mg/kg	-	10	-
Tar remnant (at 10% distillation remnant)	% (m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
Cetane number	-	51,0	-	EN ISO 5165
Sulfated ash content	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Water content	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Total contamination	Mg/kg	-	24	EN 12662
Copper band corrosion (3 hours at 50°C)	Rating	Class 1	Class 1	EN ISO 2160
Thermal stability	-	-	-	-
Oxidation stability 110°C	Hours	6	-	EN 14112
Acid value	Mg KOH/g	-	0,5	EN 14104
Iodine value	-	-	120	EN 14111

Linolic Acid Methylester	% (m/m)	-	12	EN 14103
Plyunsaturated ( $\geq 4$ double bonds) methylester	% (m/m)	-	1	-
Metahanol content	% (m/m)	-	0,2	EN 14110
Monoglyceride content	% (m/m)	-	0,8	EN 14105
Diglyceride content	% (/m/m)	-	0,2	EN14105
Triglyceride content	% (m/m)	-	0,2	EN 14105
Free Glycerine	% (m/m)	-	0,02	EN 14105/EN 14106
Total Glycerine	% (m/m)	-	0,25	EN 14105
Alkali metal (Na+K)	mg/kg	-	5	EN 14108/EN 14109
Phosphorus content	mg/kg	-	10	EN 14107

Standar Eropa adalah EN 14214 yang dikembangkan berdasarkan standar FAME Jerman DIN. Standar biodiesel dikembangkan berdasarkan *methyl ester* yang berasal dari *rapeseed*. Standar ini mengatur mutu biodiesel *methyl ester* yang digunakan secara murni atau ditambahkan pada solar dengan kadar 7%-vol (B7) atau lebih rendah. Campuran biodiesel 7% sudah digunakan di Eropa secara luas dan sudah tersedia banyak di stasiun bahan bakar (Choerniadi, 2015). Tabel 2.1 menunjukkan spesifikasi detail yang diatur dalam standar Eropa.

### 2.3.2 Standar Biodiesel Amerika Serikat

Tabel 2.2 Spesifikasi Biodiesel (B100) ASTM D6751-12 (Choerniadi, 2015)

Property	Test Method	Grade No.1-B S15	Grade No. 1-B S500	Grade No. 2-B S15	Grade No. 2-B S500
Sulfur <sup>B</sup> % mass (rpm), max	D5453	0.0015 (15)	0.05 (500)	0.0015 (15)	0.05 (500)
Cold soak filterability, second, max	D7501	200	200	360 <sup>c</sup>	360 <sup>c</sup>
Monoglyceride content, % mass, max	D6584	0,40	0.40	.....	.....
Requirements for All Grade					
Calcium and magnesium, combined, ppm (% g/g), max	EN 14538	5	5	5	5
Flash point (closed cup), °C, min	D93	93	93	93	93
Alcohol control one of the following shall be met: 1. Methanol content, mas % max 2. Flash point, °C min	EN 14110 D93	0.2 130	0.2 130	0.2 130	0.2 130
Water and sediment, % volume, max	D2709	0.050	0.050	0.050	0.050
Kinematic viscosity, <sup>D</sup> mm <sup>2</sup> /s, 40°C	D445	1.9-6.0	1.9-6.0	1.9-6.0	1.9-6.0
Sulfated ash, % mass, max	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020

Copper strip corrosion, max	D130	No. 3	No. 3	No. 3	No. 3
Cetane number, min	D613	47	47	47	47
Cloud point, <sup>E</sup> °C	D2500	Report	Report	Report	Report
Carbon residue, <sup>F</sup> % mass, max	D4530	0.050	0.050	0.050	0.050
Acid number, mg KOH/g, max	D664	0.50	0.50	0.50	0.50
Free glycerin, % mass, max	D6584	0.020	0.020	0.020	0.020
Total glycerin, % mass, max	D6584	0.240	0.240	0.240	0.240
Phosphorus content, % mass, max	D4951	0.001	0.001	0.001	0.001
Distillation temperature, Atmospheric equivalent temperature, 90% recovered, °C, max	D1160	360	360	360	360
Sodium and Potassium, combined, ppm (% g/g), max	EN 14538	5	5	5	5
Oxidation stability, hours, min	EN 15751	3	3	3	3

Standar yang digunakan Amerika serikat adalah standar ASTM D6751-12. Standar ini mengatur mutu biodiesel yang mengandung *mono-alkil ester* dari asam lemak rantai panjang yang diperoleh dari minyak sayur atau lemak binatang atau yang sering disimbolkan dengan B100. Table 2.2 menunjukkan standar biodiesel dari ASTMD6751-12.

### 2.3.3 Standar Biodiesel Indonesia

Parameter yang diatur dalam standar biodiesel di Indonesia lebih condong menyesuaikan dengan standar Eropa dan Amerika (*Choerniadi, 2015*). Parameter limit dan metode pengujian biodiesel di Indonesia diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 7182:2012 yang ditetapkan oleh Badan Standar Nasional (BSN). Adapun standar mutu biodiesel Indonesia dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Spesifikasi Standar Biodiesel Indonesia (*Choerniadi, 2015*)

Parameter	Unit	Limit
Ester content	Mas %	96.5 min as Ester Metil
Density	kg/m <sup>3</sup>	850-890
Viscosity	mm <sup>2</sup> /s at 40°C	2.3-6.0
Flash point	°C	100 min
Sulfur content	Mass %	0.010 max
Diistillation T90	°C	360 max
Carbon residue (100%) or carbon residue (10%)	Mass %	0.05 max or 0.3 max
Cetane number		51 min
Sulfated ash	Mass %	0.02 max
Copper corrosion		No. 1

Acid value	MgKOH/kg	0.6 max
Oxidation stability, or induction period, petro oksidasi method	Hours	360 minutes or 27 minutes
Iodine value		115 max
Free glycerol content	Mass %	0.02 max
Total glycerol content	Mass %	0.24 max
Phosphorous content	mg/kg	10 max
Cloud point	°C	18°C max
Water and sediment	%-vol	0.005 max

Dari berbagai standar biodiesel dunia perlu dilakukan komparasi untuk mengevaluasi perbedaan, latar belakang dan kekhasan masing-masing standar yang didasari oleh banyak pertimbangan teknis dan komersial (Choerniadi, 2015). Tabel 2.4 adalah menampilkan komparasi spesifikasi biodiesel dunia.

## 2.4 Waste Cooking Oil

Minyak goreng bekas (minyak jelantah) merupakan limbah yang berasal dari rumah tangga, terutama dari restoran dan industri pangan (Umami, 2015). Minyak jelantah mengandung beberapa senyawa yang berbahaya bagi kesehatan manusia yang dihasilkan selama proses pemanasan (penggorengan) dalam jangka waktu tertentu antara lain: polimer, aldehid, asam lemak bebas, dan senyawa aromatik. Selama penggorengan minyak mengalami reaksi degradasi yang disebabkan oleh panas, air dan udara, sehingga terjadinya oksidasi, hidrolisis dan polimerisasi (Umami, 2015).

Minyak goreng bekas (WCO) dapat digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan biodiesel. Minyak goreng bekas mengandung asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*, FFA) yang dihasilkan dari reaksi oksidasi dan hidrolisis (Aziz dkk, 2011).

Tabel 2.4 Komparasi Spesifikasi Biodiesel Dunia (Choerniadi, 2015)

Parameter	Unit	Japan JIS K230:2008	EU EN 14214:2 003	USA ASTM D6751-08	Indonesia SNI 7182:2012
Ester content	Mass %	96.5 min	96.5 min	-	96.5
Density	Kg/m <sup>3</sup>	860-900	860-900	-	850-890
Viscosity	mm <sup>2</sup> /s at 40°C	3.50-5.00	3.50-5.00	1.9-6.0	2.3-6.0
Flash point	°C	120 min	120 min	93 min	100 min
Sulfur content	Mass %	0.0010 max	0.0010 max	0.0015 max	0.010 max
Distillation T90	°C	-	-	360 max	360 max
Carbon residu (100%) or carbon residu	- mass %	- 0.30 max	0.30 max -	0.05 max -	0.05 max

(10%)					0.03 max
Cetane number		51.0 min	51.0 min	47 min	51 min
Sulfated ash	mass %	0.02 max	0.02 max	0.02 max	0.02 max
Water content	mg/kg	500 max	500 max	0.05 [vol %] max	As in water & sediment
Total contaminant	mg/kg	24 max	24 max	-	
Copper corrosion		Class 1	Class 1	No.3	No. 3 (3 hours at 50°C)
Acid value	mgKOH/kg	0.50 max	0.50 max	0.50 max	0.6 max
Oxidation stability, or induction period, petro oksidasi method	Hours	(**)	6.0 min	3 min	360 minutes, 27 minutes
Iodine value		120 max	120 max	-	115 max
Methyl Linolenate	Mass %	12.0 max	12.0 max	-	-
Polyunsaturated FAME (more than 4 double bonds)	Mass %	N.D.	1 max	-	-
Methanol content	Mass %	0.20 max	0.20 max	0.2 max (*)	-
Monoglyceride content	Mass %	0.80 max	0.80 max	-	-

Jelantah sisa penggorengan yang tidak bisa dipergunakan harus dibuang. Sisa penggorengan ini akan berdampak kepada lingkungan apabila tidak diolah secara benar. Sisa penggorengan yang tidak berguna ini bisa dimanfaatkan sebagai bio-diesel. Biodiesel tersebut dapat dipakai sebagai komplemen minyak solar (*gas oil*) sebagai penggerak motor diesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berbagai campuran *methyl ester* dari jelantah dengan minyak solar tidak menurunkan kinerja mesin secara signifikan (Fathallah, 2002).

Salah satu bentuk pemanfaatan minyak jelantah agar dapat bermanfaat ialah dengan mengubahnya secara proses kimia menjadi biodiesel. Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah ini dapat dilakukan melalui reaksi transesterifikasi untuk mengubah minyak (*trigliserida*) menjadi asam lemak *methyl ester*. Kandungan asam lemak bebas (FFA) pada bahan baku (minyak jelantah) merupakan salah satu faktor penentu metode pembuatan biodiesel. Penggunaan minyak goreng yang sering digunakan secara berulang-ulang menjadikan minyak dari berwarna kuning menjadi berwarna gelap. Proses oksidasi juga menyebabkan warna minyak menjadi gelap, tetapi mekanisme terjadinya komponen yang menyebabkan warna gelap ini masih belum sepenuhnya diketahui. Perubahan warna dapat disebabkan oleh perubahan zat warna alami atau tokoferol yang terkandung dalam minyak, produk degradasi minyak, reaksi maillard karena minyak yang panas akan mengekstraksi zat



warna yang terdapat dalam bahan pangan, adanya logam seperti Fe, Cu, Mn atau adanya oksidasi. Untuk itu, sebelum dilakukan proses transesterifikasi terlebih dahulu dilakukan proses pemurnian terhadap minyak jelantah (Umami, 2015).

## 2.5 Angka Iodin

Angka iodin mencerminkan ketidakjenuhan asam lemak penyusun minyak dan lemak. Asam lemak tak jenuh mampu mengikat iodin dan membentuk senyawaan yang jenuh. Banyaknya iodin yang diikat menunjukkan banyaknya ikatan rangkap. Lemak yang tidak jenuh dengan mudah dapat bersatu dengan iodin (dua atom iodin ditambahkan pada setiap ikatan rangkap dalam lemak). Semakin banyak iodin yang digunakan semakin tinggi derajat ketidakjenuhan. Biasanya semakin tinggi titik cair semakin rendah kadar asam lemak tidak jenuh dan demikian pula derajat ketidakjenuhan (angka iodin) dari lemak bersangkutan. Asam lemak jenuh biasanya padat dan asam lemak tidak jenuh adalah cair, karenanya semakin tinggi bilangan iodin semakin tidak jenuh dan semakin lunak lemak tersebut.

Angka iodin dinyatakan sebagai banyaknya garam *iod* yang diikat oleh 1 gram minyak atau lemak. Penentuan angka iodin dapat dilakukan dengan cara *hanus* atau cara *Kaufmaun* dan cara *Von Hubl* atau cara *Wijs*. Pada cara *hanus*, larutan *iod* standarnya dibuat dalam asam asetat pekat (glasial) yang berisi bukan saja *iod* tetapi juga *iodium bromida*. Adanya *iodium bromida* dapat mempercepat reaksi. Sedang cara *Wijs* menggunakan larutan *iod* dalam asam asetat pekat, tetapi mengandung *iodium klorida* sebagai pemicu reaksi (Panggabean, 2009).

Asam-asam lemak tidak jenuh biasanya berupa lemak yang dapat dimakan (*enable fat*) dan pada suhu kamar berbentuk cair. Angka iodin berhubungan dengan titik cair atau kekerasan dari suatu lemak. Sebagai contoh adalah minyak jagung yang terdiri dari 83% asam lemak tidak jenuh yang mempunyai titik cair -10 sampai -13°C dan angka *iod* antara 103-128. Sedangkan lemak babi yang terdiri dari 54% asam lemak tidak jenuh mempunyai titik cair 33-46°C dan angka iodin sebesar 53-77. Hal ini juga menjelaskan bahwa mengapa lemak yang keras (gliserida dengan rantai utama jenuh) tidak dapat dicerna dengan kadar yang sama seperti lemak ringan yang mengandung gliserida tidak jenuh cukup besar (Pramesti, 2013).

## 2.6 Regulasi Emisi

Motor diesel merupakan jenis motor pembakaran dalam yang mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanik. Bahan bakar diesel merupakan

campuran dari hidrokarbon dimana pada kondisi proses pembakaran ideal akan menghasilkan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Pada saat kondisi ideal selain zat  $\text{CO}_2$  dan gas yang menyebabkan efek rumah kaca, hasil dari pembakaran pada motor diesel tidak berdampak pada kesehatan maupun lingkungan (Alhaq, 2016).

Gas buang pada motor diesel yang tidak ideal akan menyebabkan kerusakan dan dampak buruk untuk kesehatan maupun lingkungan, pembakaran tidak ideal bisa disebabkan pembakaran yang tidak sempurna, suhu atau kompresi yang tidak sesuai, minyak pelumas atau zat aditif yang merupakan zat hidrokarbon yang ikut terbakar, ataupun zat yang terkandung pada bahan bakar yang kurang baik seperti sulfur dan lainnya. Umumnya *pollutan* dari gas buang motor diesel adalah hidrokarbon yang tidak terbakar (HC), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) atau *Particulate Matter* (PM).

Untuk mengendalikan emisi gas buang terutama pada motor diesel yang digunakan sebagai penggerak utama kendaraan di bidang maritim, maka *International Maritime Organization* (IMO) membuat regulasi sebagai standar di seluruh dunia. Salah satu regulasi yang dikeluarkan IMO mengenai gas terkandung dalam “*International Convention on the Prevention of Pollution from Ship*” yang dikenal sebagai MARPOL 73/78 (Alhaq, 2016).

MARPOL atau *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships* dapat dikatakan sebagai peraturan dalam skala internasional yang paling ambisius dalam rangka pencegahan pencemaran laut akibat aktivitas rutin ataupun kecelakaan kapal laut.

MARPOL tidak hanya mencakup pencegahan pencemaran laut akibat tumpahan minyak dari kapal tetapi mengatur pula soal bahan-bahan beracun, bahan-bahan berbahaya didalam kemasan, termasuk sampah dan limbah dari kapal yang dihasilkan dari operasional rutin melalui lima *annex* nya, bahkan pada amandemen tahun 2007, ditambahkan pula satu *annex* yang mengatur soal polusi udara yang berasal dari kapal, sehingga hari ini susunan *annex* dalam MARPOL adalah sebagai berikut:

- Annex I tentang pencemaran yang disebabkan oleh minyak,
- Annex II tentang pencemaran yang disebabkan oleh bahan-bahan beracun (*Noxious Liquid Substances*)
- Annex III tentang pencemaran yang disebabkan oleh bahan-bahan berbahaya didalam kemasan
- Annex IV tentang pencemaran yang disebabkan oleh sampah (*garbage*) dari kapal

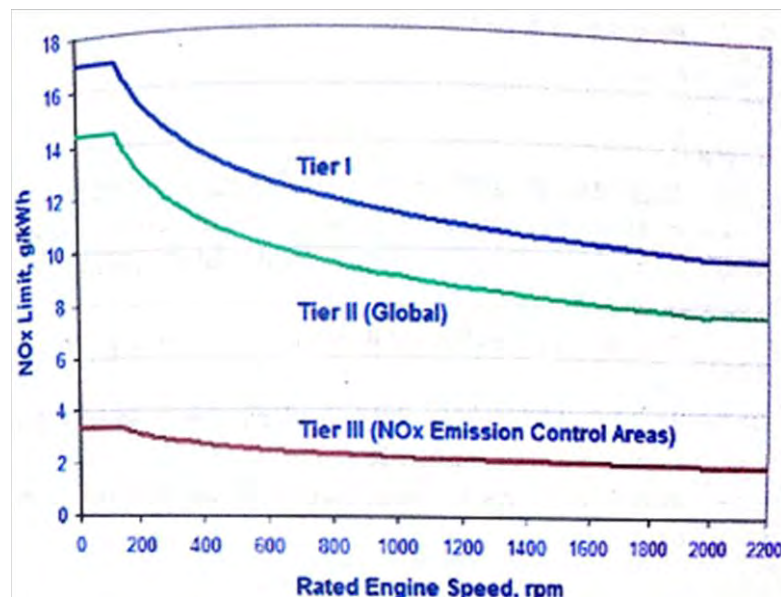
- Annex V tentang pencemaran yang disebabkan oleh limbah cair (*sewage*)
- Annex VI tentang pencemaran udara yang disebabkan oleh aktivitas kapal.

Keenam Annex ini masing-masing merupakan pokok pengaturan MARPOL terkait limbah dan polusi, yang membentuk bagian integral dari MARPOL sendiri. Hal ini juga semakin menguatkan posisi MARPOL sebagai instrumen legal utama yang meliputi pencegahan pencemaran lingkungan laut oleh kapal-kapal yang disebabkan oleh tindakan operasional maupun sebab insidental.

MARPOL annex VI adalah merupakan annex yang mengatur tentang batas emisi NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> dari gas buang kapal yang penggerak utamanya adalah Motor diesel. Batas NO<sub>x</sub> yang ditujukan pada motor diesel bergantung pada putaran (*n*, rpm) maksimal yang digunakan pada motor diesel tersebut. Tabel 2.5 dan Gambar 2.3 adalah grafik batasan emisi NO<sub>x</sub> berdasarkan MARPOL annex VI mengenai TIER 1, TIER II dan TIER III (Alhaq, 2016).

Tabel 2.5 MARPOL annex VI batasan emisi NO<sub>x</sub> (Alhaq, 2016)

TIER	Date	NO <sub>x</sub> limit, g/kWh		
		<i>n</i> < 130	130 ≤ <i>n</i> < 2000	<i>n</i> ≥ 2000
TIER I	2000	17.0	$45.n^{-0.2}$	9.8
TIER II	2011	14.4	$44.n^{-0.23}$	7.7
TIER III	2016	3.4	$9.n^{-0.2}$	1.96



Gambar 2.3 MARPOL annex VI batasan emisi NO<sub>x</sub> (IMO, 2016)

Untuk mengetahui nilai dari emisi motor diesel berbahan bakar biodiesel menggunakan standar pengujian yang ditetapkan oleh regulasi IMO MARPOL annex VI. Dalam regulasi ini untuk mengatur emisi dari NO<sub>x</sub> dibagi menjadi 3 tingkatan yaitu sebagai berikut:

#### 1. TIER I

Regulasi IMO MARPOL TIER III untuk mengatur motor diesel yang dipasang di kapal tahun pembuatan 1 Januari 2000 sampai dengan 1 Januari 2011. Batasan berat NO<sub>x</sub> yang dikeluarkan oleh motor adalah:

- Berat NO<sub>x</sub> 17.0 g/kWh untuk putaran motor yang kurang dari 130 rpm
- Berat NO<sub>x</sub>  $45.0 \times n^{(-0.2)}$  g/kWh untuk putaran motor yang lebih dari 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm
- Berat NO<sub>x</sub> 9.8 g/kWh untuk putaran motor yang lebih dari 2000 rpm

#### 2. TIER II

Tingkatan ini untuk motor diesel yang dipasang di kapal dengan tahun pembuatan setelah 1 Januari 2011. Batasan berat NO<sub>x</sub> yang dikeluarkan oleh motor adalah:

- Berat NO<sub>x</sub> 14.4 g/kWh untuk putaran motor yang kurang dari 130 rpm
- Berat NO<sub>x</sub>  $44.0 \times n^{(-0.23)}$  g/kWh untuk putaran motor yang lebih dari 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm
- Berat NO<sub>x</sub> 7.7 g/kWh untuk putaran motor yang lebih dari 2000 rpm

#### 3. TIER III

Pada Tingkatan ini untuk motor diesel yang dipasang di kapal dengan tahun pembuatan setelah 1 Januari 2016. Batasan berat NO<sub>x</sub> yang dikeluarkan oleh motor adalah:

- Berat NO<sub>x</sub> 3.4 g/kWh untuk putaran motor yang kurang dari 130 rpm
- Berat NO<sub>x</sub>  $9.0 \times n^{(-0.2)}$  g/kWh untuk putaran motor yang lebih dari 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm
- Berat NO<sub>x</sub> 2.0 g/kWh untuk putaran motor yang lebih dari 2000 rpm

### 2.7 Performa Motor Diesel

Performa pada motor diesel antara lain daya dan torsi dipengaruhi oleh besarnya jumlah kalor hasil pembakaran, yaitu nilai kalor dari hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara

kompresi. Bahan bakar yang mempunyai nilai kalor yang rendah memerlukan jumlah bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan tenaga sebesar satu daya kuda dibandingkan bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang tinggi. Artinya, semakin rendah nilai kalor bahan bakar semakin tinggi tingkat konsumsi bahan bakarnya dibandingkan dengan bahan bakar yang nilai kalornya lebih tinggi. (Sudik, 2013).

Performa motor diesel yang menggunakan bahan bakar solar tentunya akan mempunyai perbedaan saat di test dengan menggunakan bahan bakar alternatif seperti biodiesel minyak jelantah ini. Walaupun bahan bakar biodiesel yang digunakan bukanlah murni biodiesel (B20), namun akan terjadi perbedaan performa nantinya. (Pramesti, 2013).

Untuk pengoperasian dalam jangka waktu yang lama, motor diesel yang menggunakan bahan bakar alternatif menyebabkan penurunan performa. Pembentukan deposit karbon dan kerusakan juga dapat dilihat secara visual terhadap komponen motor diesel. Kemungkinan yang dapat menyebabkan masalah tersebut terjadi adalah adanya perubahan beban dan putaran saat motor diuji. (Georing and Fry, 1984).

Deposit yang menempel pada *valve* juga bisa menjadi penyebab penurunan performa dari motor diesel. Hal ini karena secara tidak langsung akan memberikan sebuah penggeturan baru pada kondisi motor tersebut, Seperti rasio kompresi yang naik, luas bukaan katup yang menjadi lebih kecil dan tidak dapat menutup sempurna. (Pramesti, 2013).

## **2.8 State of the Art (Peta Jalan Penelitian)**

Telah banyak penelitian yang dilakukan tentang biodiesel baik mengenai sumber bahan baku, teknologi produksi, performa mesin, emisi maupun dampak penggunaannya terhadap lingkungan. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

Havendri (2008) menguji prestasi dan emisi gas buang motor diesel menggunakan variasi campuran bahan biodiesel minyak jarak (*jatropha curcas*l) dengan solar. Parameter gas buang yang diukur dalam pengujian tersebut CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO dan HC. Dari pengujian diketahui bahwa selain NO<sub>x</sub>, konsentrasi masing-masing parameter uji gas buang lainnya umumnya menurun seiring dengan meningkatnya prosentase biodiesel yang diberikan ke dalam bahan bakar solar.

Soedarmanto dan Adawiyah (2013) melakukan penelitian yang berjudul “Kajian Emisi Gas Buang Biodiesel Minyak Goreng Bekas Pada Mesin Diesel”. Fokus penelitian ini adalah

campuran antara biodiesel dengan solar terhadap emisi gas buang pada motor diesel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh besarnya campuran biodiesel dan solar terhadap emisi gas buang pada motor diesel. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah solar murni (B0), campuran biodiesel 20% (B20), 40% (B40), 60% (B60), 80% (B80), dan 100% (B100). Penelitian menggunakan *micro emission analyzer*, dimana sampel dikondisikan sebelum memasuki *analyzer* dengan melalui perangkat kondensasi dan filter partikulat. Sejumlah sensor menganalisis kandungan gas dan suhunya serta mengkalkulasi dan menampilkan hasilnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi gas buang CO, NO<sub>2</sub>, opasitas dan partikulat semakin menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi biodiesel. Penurunan emisi gas buang CO berkisar antara 97,27-99,82%, emisi NO<sub>2</sub> berkisar antara 60,92-86,21%, opasitas berkisar antara 16,67-50%, dan partikulat berkisar antara 0,12-3,38%.

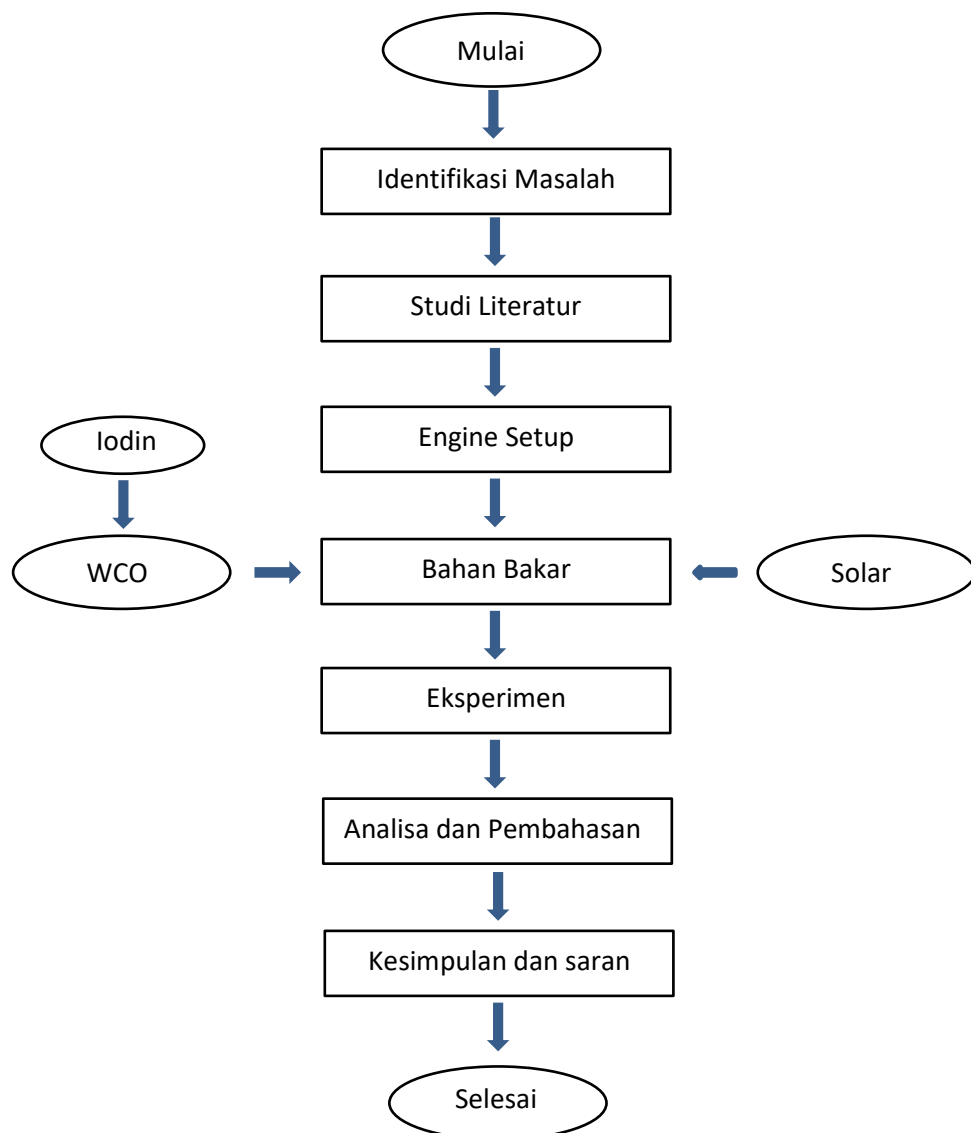
Machmud (2009) melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh perbandingan solar-biodiesel (Minyak jelantah) terhadap emisi gas buang pada motor diesel”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh besarnya prosentasi campuran biodiesel pada solar terhadap gas buang pada berbagai variasi kecepatan putar mesin (rpm). Dalam percobaan menggunakan engine test bed, dimana mesin diletakkan pada suatu bantalan yang kemudian poros *output* dihubungkan dengan suatu poros dinamometer. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah emisi gas buang yang meliputi: CO, CO<sub>2</sub> serta HC, Bahan bakar yang digunakan adalah solar murni dan campuran biodiesel 5% (B5), 10% (B10), 15% (B15) dan 20% (B20). Dari penelitian diperoleh hasil bahwa emisi gas buang CO terendah terjadi pada bahan bakar B10, CO<sub>2</sub> terendah juga pada bahan bakar B10 dan HC terendah pada bahan bakar B20.

Dari beberapa penelitian yang telah direview, maka muncul ide untuk melakukan penelitian dengan metode eksperimen untuk mengetahui pengaruh angka iodine pada WCO terhadap emisi gas buang pada motor diesel. Dalam eksperimen ini akan memvariasikan angka iodine pada biodiesel dari WCO. Kemudian WCO dicampur dengan bahan bakar fosil (solar) dengan perbandingan 20% (B20) dan 30% (B30). Analisa yang dilakukan adalah dengan menganalisa setiap tingkat prosentasi penambahan iodine pada WCO dan menganalisa setiap tingkat prosentasi penambahan WCO pada solar Dex pada tingkat putaran dan beban yang berbeda.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian merupakan dasar agar proses penelitian berjalan secara sistematis, terstruktur dan terarah. Dalam penelitian ini menggunakan metode berbasis eksperimen. Pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen dengan variable angka iodin pada biodiesel dari WCO. Kemudian WCO dicampur dengan solar dex dengan perbandingan 0%:100% (B0), 20%:80% (B20) dan 30%:70% (B30), pada B20 dan B30 akan divariasikan dengan iodin 20 10 gram dan 20 gram jenis kalium iodat. Selanjutnya pengujian performa dan emisi utuk memperoleh data sebagai acuan untuk menentukan pengaruh angka iodin terhadap performa dan emisi yang dihasilkan oleh *engine*, pengujian emisi menggunakan *gas analyzer* untuk mendapatkan nilai NO<sub>x</sub>. Adapun diagram metodologi yang digunakan dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian



### 3.1 Identifikasi Masalah

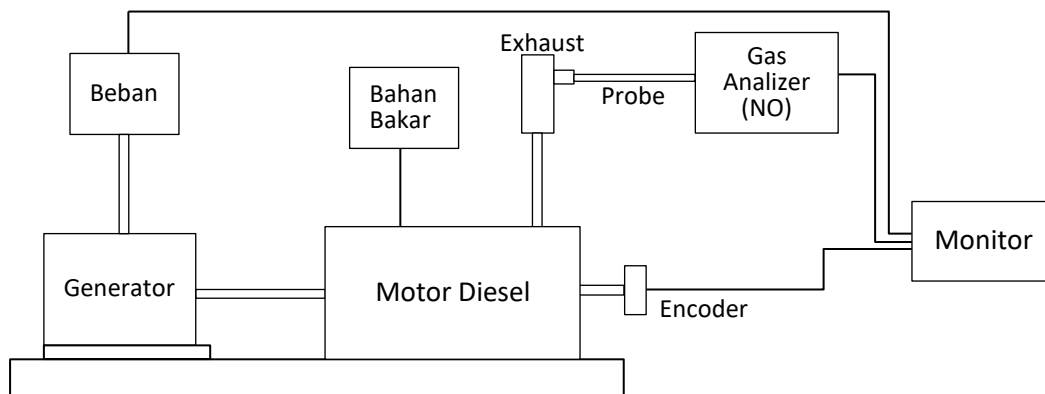
Pengidentifikasian masalah pada penelitian ini, untuk mengetahui apakah kandungan iodin pada biodiesel dari WCO mempengaruhi emisi gas buang pada motor diesel. Selain itu, perumusan masalah ini nantinya akan dilakukan pengujian kandungan iodin pada biodiesel dari WCO terhadap proses pembakaran motor diesel.

### 3.2 Studi Literatur

Studi literature dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang dapat menunjang permasalahan yang ada. Studi literatur didapatkan dari beberapa sumber seperti, buku, jurnal, tugas akhir, dan internet. Pada penelitian ini, studi literatur tersebut mengacu pada kandungan iodine pada biodiesel, performa mesin diesel dan proses pembakaran motor diesel.

### 3.3 Engine Setup

Merencanakan dan mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan pada proses eksperimen, Variabel tetap pada uji performa motor diesel adalah pada putaran dan pembebanan. Putaran yang digunakan adalah 1800 rpm, 1900 rpm, 2000 rpm, 2100 rpm, dan 2200 rpm. Sedangkan untuk pembebanan mulai dari beban 1000 watt, 2000 watt, 3000 watt, 4000 watt dan 5000 watt.



Gambar 3.2 Diagram blok engine set up

### 3.4 Variabel Angka Iodin

Untuk memvariabelkan angka Iodin, digunakan teknik penambahan iodin jenis kalium iodat ( $KIO_3$ ). Kalium iodat merupakan iodin yang berbentuk butiran halus yang banyak digunakan di industri garam sebagai bahan kimia yang dicampurkan pada garam yang dapat

dikonsumsi oleh manusia. Selain digunakan pada industri garam kalium iodat juga digunakan pada dunia medis sebagai bahan campuran pada pembuatan obat-obatan.

Penambahan iodin dilakukan pada WCO bertujuan agar mendapatkan angka iodin yang berbeda-beda. Dalam penelitian ini terdapat 3 variasi penambahan iodin, yaitu 0 gr/liter, 10 gr/liter dan 20 gr/liter dengan menggunakan metode analisa *Gravimetry*.

Metode analisa *Gravimetri* merupakan salah satu metode analisis kuantitatif dengan penimbangan yang didasarkan pada pengukuran berat, dan melibatkan pembentukan, isolasi dan pengukuran berat dari suatu endapan. Tahap awal analisis *gravimetry* adalah pemisahan komponen yang ingin diketahui dari komponen-komponen lain yang terdapat dalam suatu sampel kemudian dilakukan pengendapan.

Hasil analisa *iodine number* ini akan menentukan apakah *iodine number* dari biodiesel WCO dapat memenuhi standar IMO Marpol annex VI Tier III. Gambar 3.3 merupakan jenis iodin kalium iodat yang akan ditambahkan pada biodiesel pada eksperimen ini.



Gambar 3.3 Iodin kalium iodat

### 3.5 Bahan Bakar

Bahan bakar yang akan digunakan dalam eksperimen ini terdiri dari 2 jenis bahan bakar, yaitu Pertamina dex dan biodiesel WCO dengan 3 variasi penambahan iodin. Solar dex yang digunakan adalah yang dijual di SPBU milik Pertamina dan biodiesel WCO. Pertamina dex dan biodiesel tersebut nantinya akan dilakukan pencampuran dengan prosentase 20%:80% (B20), dan 30%:70% (B30) sehingga membentuk 6 tipe bahan bakar yaitu:

1. Variasi 1 tanpa penambahan iodin dengan prosentase 20% biodiesel dan 80% solar dex yang selanjutnya disebut BA1

2. Variasi 2 tanpa penambahan iodin dengan prosentase 30% biodiesel dan 70% solar dex yang selanjutnya disebut BA2
3. Variasi 3 dengan penambahan iodin 20 gr/l dengan prosentase 20% biodiesel dan 80% solar dex yang selanjutnya disebut BB1
4. Variasi 4 dengan penambahan iodin 20 gr/l dengan prosentase 30% biodiesel dan 70% solar dex yang selanjutnya disebut BB2.
5. Variasi 5 dengan penambahan iodin 30 gr/l dengan prosentase 20% biodiesel dan 80% solar dex yang selanjutnya disebut BC1.
6. Variasi 6 dengan penambahan iodin 30 gr/l dengan prosentase 30% biodiesel dan 70% solar dex yang selanjutnya disebut BC2.

### **3.6 Pengujian**

#### **3.6.1 Pengujian *Properties* Biodiesel**

Pengujian *properties* biodiesel bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisika dan kimia dari biodiesel berbahan baku WCO yang telah diperoleh dari proses transesterifikasi. Parameter yang akan diuji dalam pengujian ini adalah Viskositas, densitas, titik nyala, bilangan setana, angka iodin, titik kabut, titik tuang, kadar abu, *lower heating value* (LHV), kadar air, distilasi dan angka asam. Hasil dari pengujian ini akan dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang ditetapkan oleh Badan Standar Nasional (BSN) Indonesia tahun 2015.

#### **3.6.2 Pengujian Performa**

Pengujian performa dilakukan setelah bahan bakar biodiesel yang telah diuji kandungan iodinnya pada masing-masing jenis varian yang telah diproduksi. Tujuan dilakukan uji performansi adalah untuk mengetahui pengaruh angka iodin pada biodiesel berbahan baku WCO terhadap performansi motor diesel. Dalam pengujian ini akan diperoleh data-data yang selanjutnya data-data tersebut akan dianalisa untuk menentukan besarnya daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel oil consumption*), BMEP dan efisiensi thermal pada masing-masing putaran. Putaran yang digunakan dalam pengujian ini adalah 1800 rpm, 1900 rpm, 2000 rpm 2100 rpm dan 2200 rpm. Sedangkan beban yang digunakan adalah 1000 watt, 2000 watt, 3000 watt, 4000 watt dan 5000 watt.

### 3.6.3 Pengujian NO<sub>x</sub>

Pengujian selanjutnya adalah pengujian pengaruh prosentasi campuran biodiesel WCO dengan solar/pertamina DEX yang merupakan tujuan dari penelitian ini. Untuk mengetahui pengaruh dari prosentase biodiesel WCO terhadap emisi NO<sub>x</sub> motor diesel maka harus dilakukan dengan variasi prosentase campuran biodiesel tersebut. Dalam pengujian ini jenis bahan bakar yang akan digunakan ada 3 jenis bahan bakar. Yang pertama menggunakan jenis bahan bakar 100% minyak solar DEX (B0), campuran solar DEX 80% dengan biodiesel WCO 20% (B20) dan campuran solar DEX 70% dengan biodiesel WCO 30% (B30).

Pengujian NO<sub>x</sub> dilakukan untuk mendapatkan data-data yang diinginkan dengan menggunakan gas analyzer untuk mendapatkan nilai NO<sub>x</sub> dengan bahan bakar campuran antara biodiesel dengan solar. Prosentasi campurannya adalah 20%:80% (B20) dan 30%:70% (B30) dengan varian iodine 10 gram/liter dan 30 gram/liter. Untuk metode pengujian pada uji emisi dan proses pembakaran, titik RPM dan beban mengikuti prosedur pada aturan IMO Marpol Annex VI. Tipe pengujian yang dipilih adalah *test cycle type E2*, tipe ini dipilih karena motor yang diuji dapat difungsikan sebagai motor penggerak utama kapal. Metode pengujian untuk tipe E2 adalah seperti yang terlihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 MARPOL Annex VI, Appendix II Test Cycle

Test Cycle Type E2	Speed	100%	100%	100%	100%
	Power	100%	75%	50%	25%
	Weight Factor	0.2	0.5	0.15	0.15

*Diesel engine* yang akan digunakan pada pengujian performansi dan emisi NO<sub>x</sub> ini adalah YANMAR TF 85 MH-di 439 cc bersilinder tunggal.

### 3.7 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh setelah melakukan uji emisi dengan gas analyzer WCO yang telah tercampur sebelumnya. Disamping itu dibutuhkan juga data pada saat unjuk kerja (performansi) pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar yang telah disediakan.

### 3.8 Analisa Data dan Pembahasan

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan adalah menganalisa hasil dari proses pengujian terhadap performansi dan emisi NO<sub>x</sub> dengan penambahan varian iodine pada WCO

dengan solar, viskositas dan titik bakar dari campuran biodiesel WCO dengan solar terhadap emisi  $\text{NO}_x$  pada motor diesel.

### **3.9 Kesimpulan**

Setelah semua tahapan dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data yang diperoleh dari proses eksperimen yang telah dilakukan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan eksperimen ini.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 *Properties Biodiesel Waste Cooking Oil*

Pada penelitian ini bahan baku yang digunakan untuk pembuatan biodiesel adalah WCO yang dikumpulkan dari pedagang makanan yang lebih dari tiga kali penggorengan. WCO ini melalui proses transesterifikasi dengan katalis KOH dan methanol untuk mendapatkan kualitas biodiesel yang sesuai dengan standar biodiesel Indonesia (SBI). Setelah didapatkan biodiesel melalui proses transesterifikasi, kemudian untuk mengetahui kualitasnya maka dilakukan pengujian properties (tabel 4.1). Pada penelitian ini pengujian properties dilakukan di Laboratorium Energi ITS.

Tabel 4.1 Hasil pengujian properties biodiesel

No	Parameter	Satuan	Hasil	Metode Pengujian
1	Kinematik Viscosity at 40°C	cSt	7,87	ASTM D 445-97
2	Pour Point	°C	3	ASTM D 97-85
3	Cloud Point	°C	15	ASTM D 2500
4	Flash Point	°C	174	ASTM D 93-00
5	Sulfur Content	%	0,26	SNI 7431:2008
6	Sediment Content	%	9.17	ASTM D 473-02
7	Water Content	%	0,048	ASTM D 1796
8	Ash Content	%	0,012	ASTM D 482
9	Densitas	Gr/cm <sup>3</sup>	0,88	Piknometer
10	Distillation 90% Complete	°C	410	ASTM D 86
11	Cetane Index	-	50,30	ASTM D 4737:2011
12	Lower Heating Value	BTU/lb	18.222	ASTM D 240

Dari hasil pengujian properties biodiesel yang dilakukan terlihat bahwa hasilnya sesuai dengan standar biodiesel Indonesia (SBI), dengan demikian biodiesel tersebut dapat digunakan sebagai bahan bakar motor diesel.

### 4.2 **Kandungan Iodine Number**

Suatu besaran sebagai tolak ukur untuk mengukur derajat ketidakjenuhan dalam asam lemak disebut *iodine number* (bilangan iodin) yang dinyatakan banyaknya jumlah gram iodin yang diserap oleh 100 gram lemak. Bilangan iodin tergantung pada jumlah asam lemak tidak jenuh dalam minyak. Tabel 4.3 memperlihatkan pengujian iodine number dari biodiesel WCO dengan variasi zat iodin. Pengujian ini dilakukan di laboratoium energi ITS.

Tabel 4.2 Hasil pengujian angka iodin pada biodiesel

No	Varian	Hasil	Metode pengujian
1	Biodiesel A	60,76	Gravimetry
2	Biodiesel B	61,93	
3	Biodiesel C	66,09	

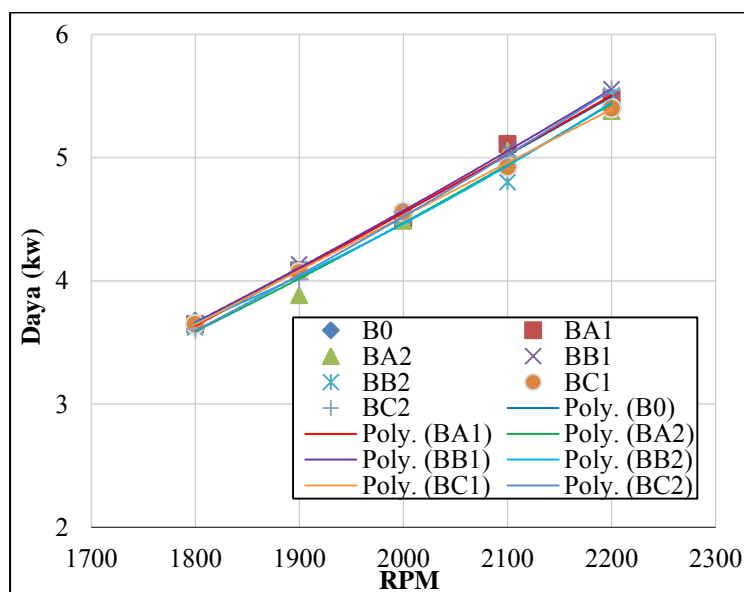
### 4.3 Pengaruh Angka Iodin Terhadap Performa Motor Diesel

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh angka iodin terhadap performa *engine* dengan menggunakan Motor diesel merek YANMAR model TF 85 MH-di 493 cc bersilinder tunggal.

Pengujian performa difokuskan pada daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel oil consumption*), BMEP dan efisiensi thermal pada masing-masing putaran. Putaran yang digunakan dalam pengujian ini adalah 1800 rpm, 1900 rpm, 2000 rpm 2100 rpm dan 2200 rpm. Sedangkan beban yang digunakan adalah 1000 watt, 2000 watt, 3000 watt, 4000 watt dan 5000 watt, jenis bahan bakar yang digunakan pada pengujian ini adalah tujuh jenis bahan bakar dengan variasi angka iodin yang berbeda.

#### 4.3.1 Pengaruh Angka Iodin Terhadap Daya

Pengujian yang dilakukan diperoleh hasil bahwa angka iodin tidak mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh engine pada setiap tingkat beban dan putaran seperti yang terlihat pada gambar 4.1, karena daya yang dihasilkan oleh engine pada setiap tingkat beban dan putaran relatif sama dan tidak terlihat adanya perbedaan yang signifikan.



Gambar 4.1 Grafik daya yang dihasilkan oleh engine di beban Maksimum pada setiap tingkat putaran.

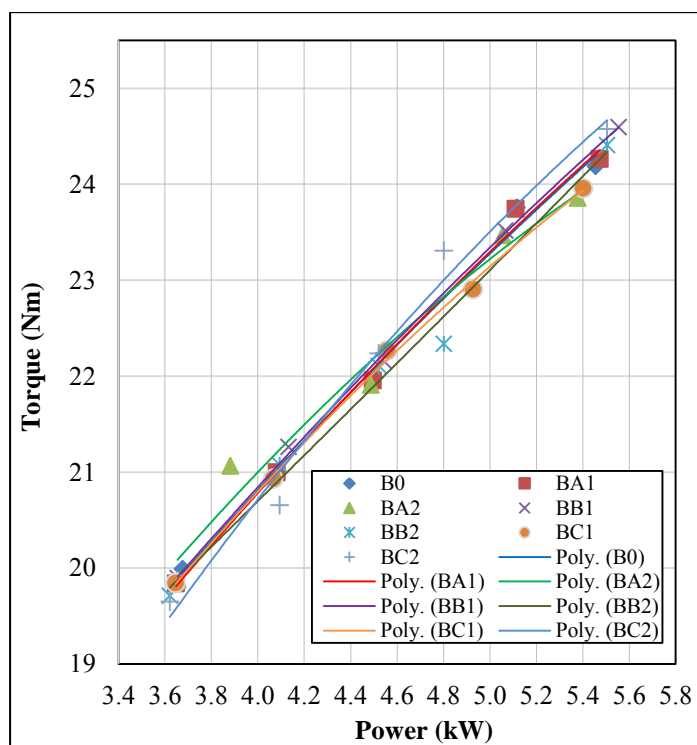


Gambar 4.1 merupakan daya yang dihasilkan oleh *engine* di tingkat beban tertinggi pada masing-masing putaran dengan berbagai varian bahan bakar. Dari gambar tersebut terlihat pula bahwa peningkatan daya pada setiap tingkat putaran adalah meningkat konstan artinya tidak ada fluktuasi daya dari tingkat putaran yang rendah ke tingkat putaran yang tinggi.

Dari pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa angka iodin tidak mempengaruhi daya engine pada setiap tingkat beban dan setiap tingkat putaran, semakin besar beban yang digunakan maka semakin besar daya yang dihasilkan seiring dengan bertambahnya putaran engine, tidak terjadi fluktuasi daya disetiap tingkat putaran *engine*.

#### 4.3.2 Pengaruh Angka Iodin Terhadap Torsi

Untuk mengetahui pengaruh angka iodin terhadap torsi yang dihasilkan oleh *engine* pada tingkat beban dan tingkat putaran yang berbeda maka dilakukan pengujian. Hasil pengujian adalah seperti yang terlihat pada gambar 4.2. Gambar tersebut merupakan torsi yang dihasilkan oleh *engine* di beban dan daya tertinggi pada masing-masing putaran engine dengan berbagai varian bahan bakar.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan antara daya dengan torsi di beban maksimum pada setiap tingkat putaran

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa angka iodin tidak mempengaruhi torsi yang dihasilkan oleh *engine* dibeban tertinggi pada masing-masing putaran dengan berbagai varian bahan bakar

yang ada karena torsi yang dihasilkan oleh engine relatif sama. Pada gambar tersebut terlihat pula bahwa semakin besar daya maka semakin besar pula torsi yang dihasilkan seiring dengan bertambahnya putaran *engine*.

Dari pengujian yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa angka iodine pada masing-masing varian bahan bakar tidak mempengaruhi torsi pada setiap tingkat beban dan setiap tingkat putaran yang dihasilkan oleh engine, terjadi peningkatan torsi pada setiap tingkat beban seiring dengan bertambahnya daya dan putaran engine, tidak terjadi fluktuasi pada setiap tingkat beban dan setiap tingkat putaran *engine*.

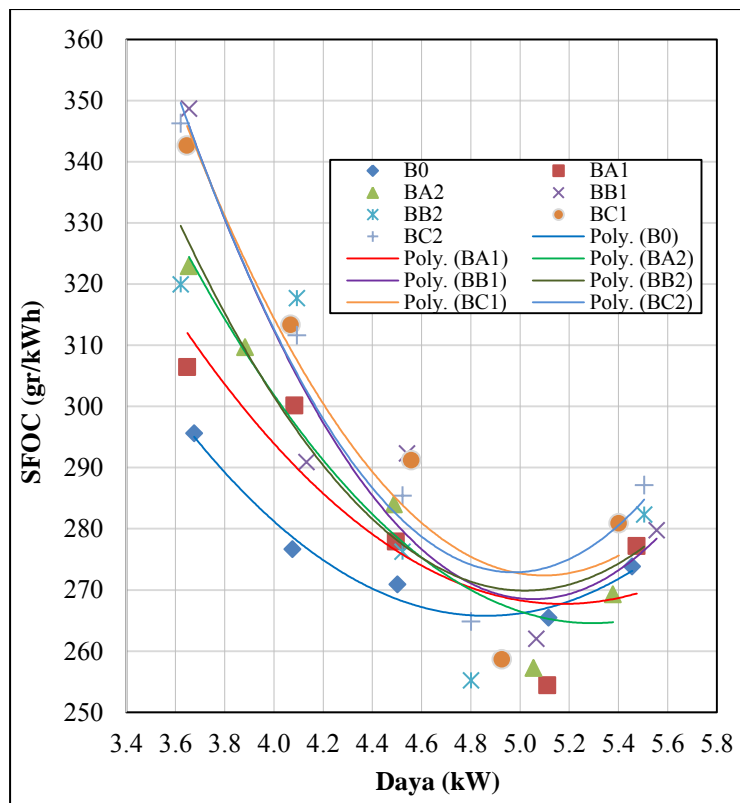
#### **4.3.3 Pengaruh angka Iodin Terhadap SFOC**

Sebagai tolak ukur untuk mengetahui SFOC dari suatu *engine* dengan berbagai varian angka iodine pada bahan bakar pada beban dan putaran yang berbeda dapat dilihat dari perbandingan antara SFOC di daya maksimum terhadap putaran engine.

Pengujian yang dilakukan diperoleh hasil SFOC dari berbagai varian bahan bakar pada beban dan putaran adalah seperti yang terlihat pada gambar 4.3. Sebagai pembandingnya maka daya maksimum yang diambil adalah daya pada beban maksimum (5000 watt) pada setiap tingkat putaran. Berdasarkan gambar 4.3 terlihat bahwa Semakin besar daya yang dihasilkan semakin kecil SFOC dan semakin besar RPM semakin kecil SFOC. Dari gambar itu juga terlihat bahwa angka iodine cukup mempengaruhi SFOC di beban maksimum (5000 watt) pada putaran 1800 rpm, 1900 rpm, 2100 rpm dan 2200 rpm, sedangkan pada putaran 2000 angka iodine tidak mempengaruhi SFOC karena relatif sama antara setiap jenis varian bahan bakar yang digunakan.

Dari gambar 4.3 juga terlihat bahwa terdapat perbedaan SFOC yang cukup signifikan dari jenis bahan bakar BB2, BC1 dan BC2 terhadap jenis bahan bakar lainnya pada putaran 1800 rpm, peningkatannya sebesar 25, 71 g/kwh terhadap BA2 dan BB2, 42,19 g/kwh terhadap BA1 dan sebesar 53,06 g/kwh terhadap B0.

Dari pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya yang dihasilkan oleh engine maka SFOC semakin kecil, angka iodine mempengaruhi SFOC pada putaran engine tertentu.



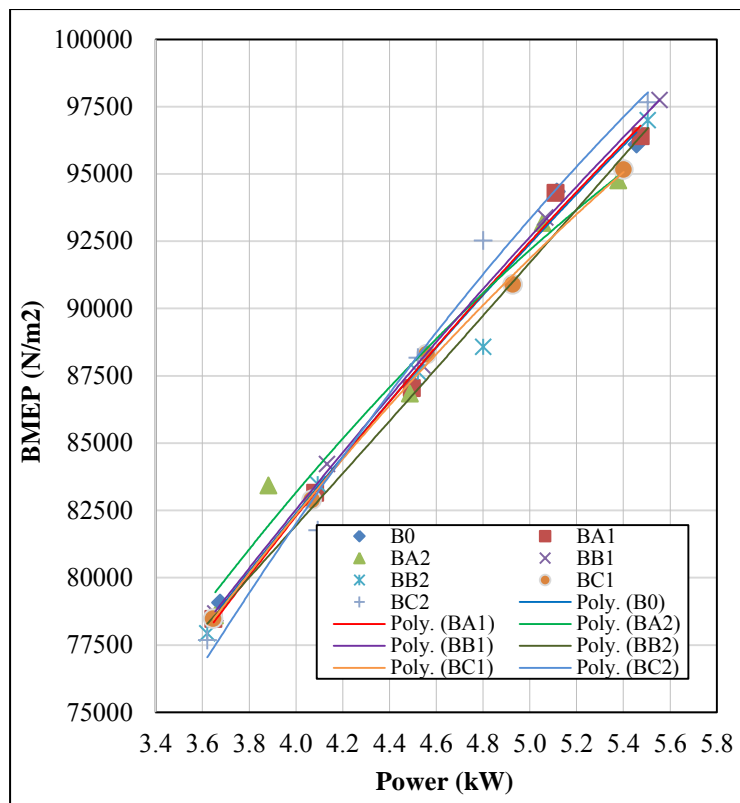
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan antara daya dengan SFOC di beban maksimum pada setiap tingkat putaran *engine*

Untuk mengetahui perbandingan antara daya dengan SFOC terhadap jenis varian bahan bakar pada masing-masing beban dan putaran dapat dilihat pada lampiran 4.

#### 4.3.4 Pengaruh Angka Iodin Terhadap BMEP

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa angka iodin tidak mempengaruhi BMEP pada setiap tingkat beban dan putaran dengan berbagai varian iodin pada setiap jenis bahan bakar karena relatif sama.

Pada gambar 4.4 memperlihatkan BMEP di beban maksimum pada setiap tingkat putaran, terlihat bahwa baik pada putaran rendah (1800 rpm) maupun pada putaran maksimum (2200 rpm) tidak terjadi perbedaan disetiap jenis bahan bakar yang digunakan. Pada gambar itu, terlihat pula bahwa semakin tinggi putaran, BMEP pun semakin besar, selain itu peningkatan dari putaran rendah ke putaran tinggi peningkatan BMEP relatif konstan artinya tidak ada perubahan peningkatan dari setiap tingkat putaran yang ada.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan antara daya dengan BMEP di beban maksimum pada setiap tingkat putaran *engine*

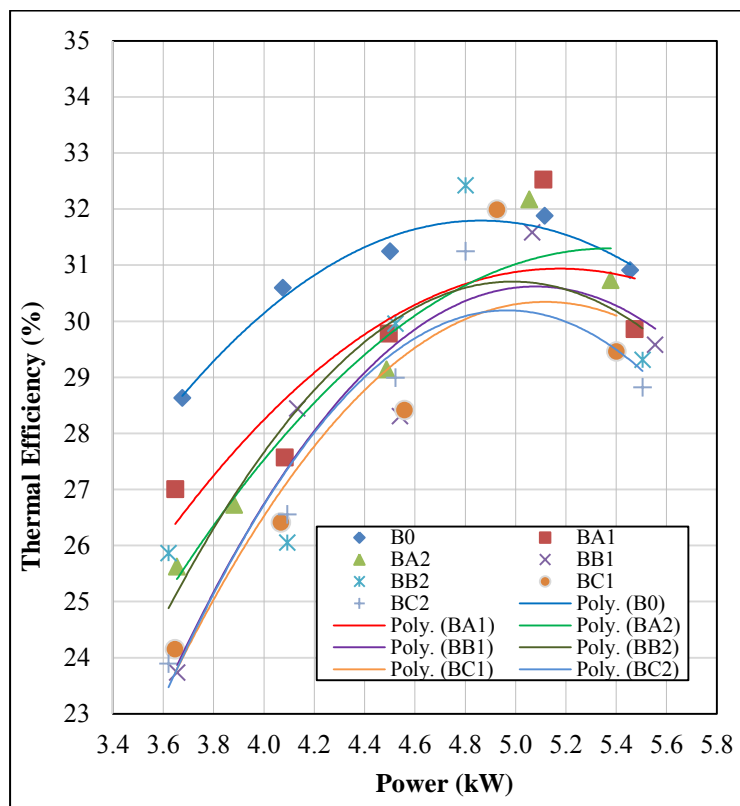
Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa angka iodin tidak mempengaruhi BMEP pada setiap tingkat beban dan tingkat putaran *engine*, terjadi peningkatan BMEP seiring dengan bertambahnya putaran *engine*, Peningkatan yang terjadi relatif konstan.

#### 4.3.5 Pengaruh Angka Iodin Terhadap Efisiensi Thermal

Untuk mengetahui besarnya pengaruh angka iodin terhadap efisiensi thermal yang dihasilkan oleh *engine* dengan menggunakan berbagai jenis varian bahan bakar maka dilakukan pengujian. Hasil pengujian adalah seperti yang terlihat pada gambar 4.5 yang memperlihatkan efisiensi thermal yang dihasilkan oleh *engine* pada beban, RPM dan daya maksimum dengan menggunakan varian angka iodin pada berbagai jenis bahan bakar.

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa angka iodin cukup mempengaruhi efisiensi thermal pada setiap tingkat beban dan putaran, hal ini dapat dilihat dari besarnya efisiensi thermal pada masing-masing tingkat beban dan putaran yang relatif tidak sama. Dari gambar itu juga dapat dilihat bahwa dari RPM 1800 ke 2100 terjadi peningkatan efisiensi thermal, sedangkan dari 2100 ke 2200 terjadi penurunan. Dari berbagai jenis bahan bakar yang digunakan, jenis bahan bakar BA1 menghasilkan efisiensi thermal yang paling besar di putaran 1800 rpm

dibandingkan dengan jenis bahan bakar lainnya sedangkan pada putaran maksimum (2200 rpm) jenis bahan BB1 menghasilkan efisiensi thermal yang paling besar.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan antara daya dengan efisiensi thermal di beban maksimum pada setiap tingkat putaran *engine*

Dari hasil pengujian diperoleh kesimpulan bahwa, angka iodn tidak mempengaruhi efisiensi thermal, terjadi fluktuasi efisiensi thermal dari putaran 2100 ke 2200 rpm, bahan bakar jenis BA1 menghasilkan efisiensi paling besar pada putaran 1800 rpm dan pada putaran 2200 rpm efisiensi paling besar dihasilkan oleh BA2.

Untuk mengetahui efisiensi thermal yang dihasilkan oleh engine berdasarkan varian bahan bakar pada masing-masing tingkat beban dan putaran dapat dilihat pada lampiran 5.

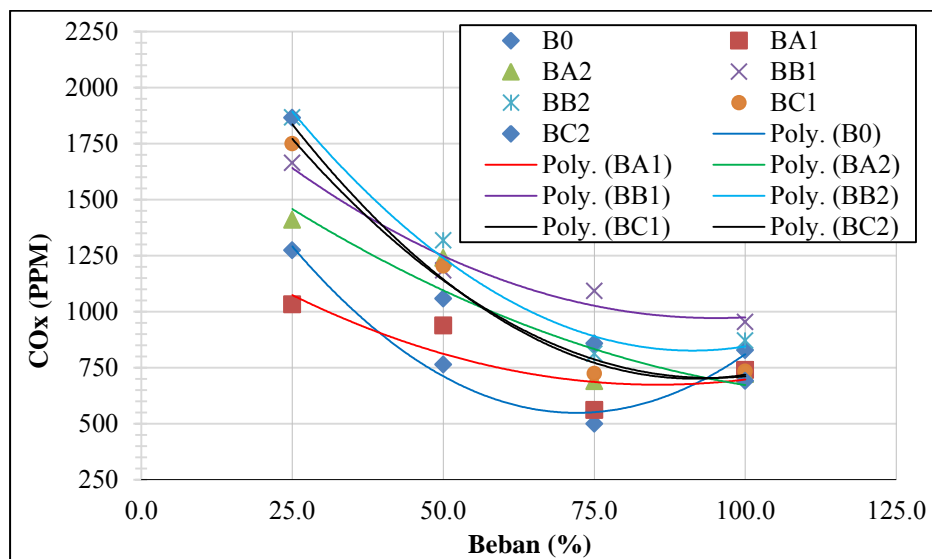
#### 4.4 Pengaruh Angka Iodin Terhadap Emisi

Pengujian emsisi dilakukan pada putaran *engine* tetap dengan beban berubah-ubah. Putaran *engine* yang digunakan adalah pada putaran maksimum (2200 rpm), sedangkan beban yang digunakan adalah 1000-4000 watt dengan prosentasi 25 %, 50% 75% dan 100%. Jenis emisi yang uji ini adalah CO, CO<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub>.

#### 4.4.1 Pengaruh Angka Iodin Terhadap CO

Dari hasil pengujian diperoleh hasil bahwa angka iodin pada setiap jenis bahan bakar mempengaruhi emisi CO pada setiap prosentasi beban yang digunakan yaitu nilai emisi CO mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya beban seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6.

Dari gambar 4.6 terlihat bahwa pada beban 25% nilai CO yang dihasilkan oleh B0 (solar dex murni) sebesar 1274 ppm, BA1 (Solar 80% + Biodiesel 20% dengan angka iodin 64,59) sebesar 1032 ppm, BA2 (solar 70% + biodiesel 30% dengan angka iodin 64,59) sebesar 1410 ppm, BB1 (solar 80% + biodiesel 20% dengan angka iodin 67,14) sebesar 1663 ppm, BB2 (solar 70% + biodiesel 30% dengan angka iodin 67,14) sebesar 1867, BC1 (solar 80% + biodiesel 20% dengan angka iodin 58,17) sebesar 1750 ppm dan pada BC2 (solar 70% + biodiesel 30% dengan angka iodin 58,17) sebesar 18,65 ppm.



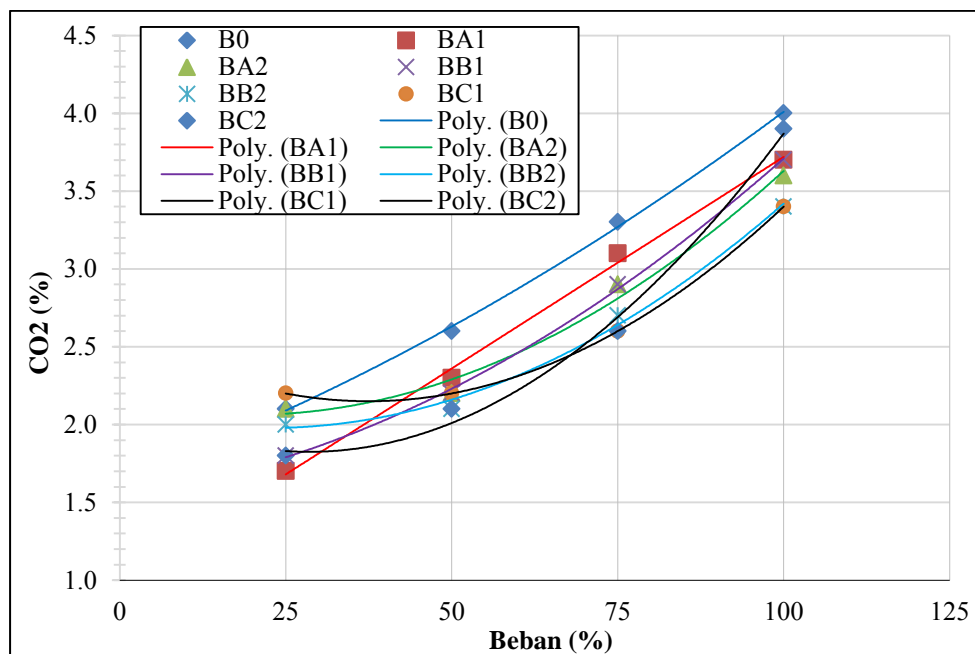
Gambar 4.6 Grafik konsentrasi CO dari varian bahan bakar pada masing-masing beban.

Pada beban 50% nilai CO yang dihasilkan oleh masing-masing jenis bahan bakar (dari B0 ke BC2) adalah sebesar 764 ppm, 938 ppm, 1239 ppm, 1183 ppm, 1318 ppm, 1204 ppm dan 1058 ppm. Untuk beban 75% CO yang dihasilkan oleh masing-masing jenis bahan bakar (dari B0 ke B3B) adalah sebesar 499 ppm, 360 ppm, 689 ppm, 1092 ppm, 812 ppm, 723 ppm dan 858 ppm. Sedangkan untuk beban 100% nilai CO yang dihasilkan oleh masing-masing jenis bahan bakar (dari B0 ke BC2) adalah sebesar 828 ppm, 739 ppm, 720 ppm, 953 ppm, 871 ppm, 733 ppm dan 690 ppm.

Dari pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa angka iodin memengaruhi emisi CO, secara umum semakin besar beban maka semakin kecil nilai CO kecuali pada beban 75% dimana pada beban ini nilai CO pada setiap jenis bahan bakar lebih kecil dari pada beban 100%. Dari gambar itu terlihat juga bahwa dari jenis bahan bakar biodiesel dengan varian iodin yang ada BA1 merupakan yang nilai CO nya terkecil dibanding dengan jenis bahan bakar biodiesel lainnya.

#### 4.4.2 Pengaruh Angka Iodin Terhadap Emisi CO<sub>2</sub>

Secara teoritis biodiesel dicampur dengan solar sebagai bahan bakar untuk motor diesel akan mengurangi timbulnya emisi CO<sub>2</sub>. Penurunan nilai emisi CO<sub>2</sub> terjadi karena jumlah unsur karbon dalam bahan bakar solar murni menjadi berkurang dengan adanya penambahan biodiesel sedangkan jumlah udara yang dimanfaatkan untuk proses pembakaran masih tetap sama.



Gambar 4.7 Grafik konsentrasi CO<sub>2</sub> dari varian bahan bakar Pada masing-masing beban

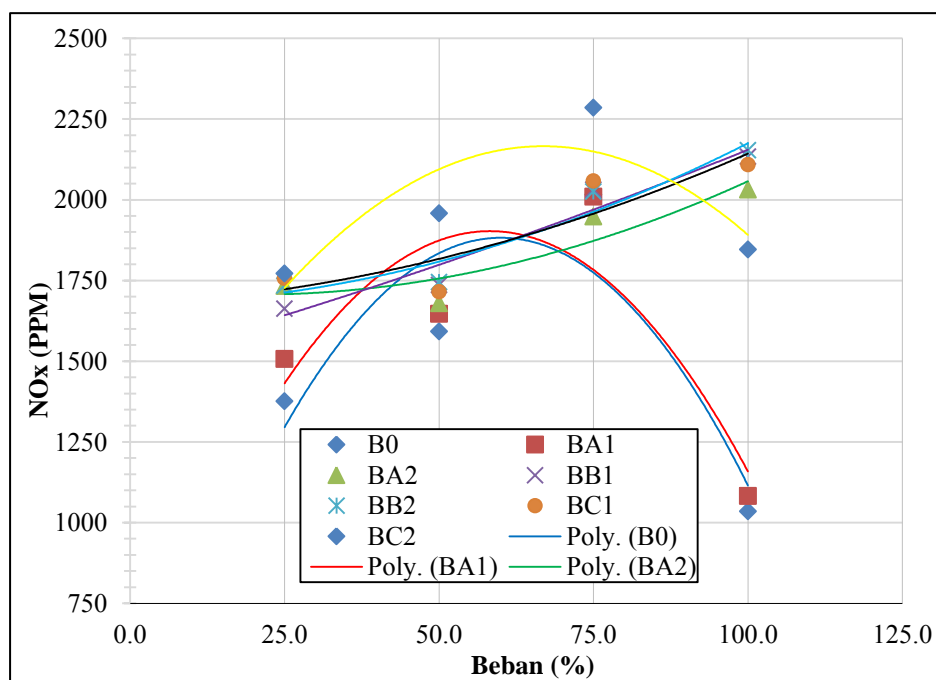
Pengujian yang dilakukan diperoleh nilai emisi CO<sub>2</sub> pada masing-masing jenis bahan bakar adalah seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.7. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa angka iodin mempengaruhi nilai emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh setiap jenis bahan bakar seiring dengan besarnya kandungan angka iodin dan besarnya prosentasi biodiesel pada bahan bakar, hal ini dapat dilihat dari nilai CO<sub>2</sub> pada setiap tingkat beban lebih kecil dibandingkan dengan nilai emisi CO<sub>2</sub> pada solar dex murni. Pada beban 25 % rata-rata

penurunan nilai emisi CO<sub>2</sub> adalah sebesar 0,17 %, pada beban 50% sebesar 0.42%, pada beban 75% sebesar 0.50%, pada beban 100% sebesar 0,40%. Penurunan emisi CO<sub>2</sub> terjadi di beban 75% . Dari gambar itu dapat dilihat pula bahwa pada beban 25% penurunan emisi CO<sub>2</sub> terbesar adalah pada jenis bahan bakar BA1, pada beban 50% penurunan terbesar adalah pada jenis bahan bakar BB2 dan BC2, pada beban 75% penurunan terbesar adalah pada jenis bahan bakar BB2 dan BC2 dan pada beban 100% penurunan terbesar adalah pada jenis bahan bakar BC1.

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa angka iodin mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub>, semakin besar beban maka semakin besar pula nilai CO<sub>2</sub> seiring dengan bertambahnya putaran *engine*.

#### 4.4.3 Pengaruh Angka Iodin Terhadap Emisi NO<sub>x</sub>

Hasil pengujian emisi NO<sub>x</sub> pada setiap jenis bahan bakar seperti yang terlihat pada gambar 4.8, pada gambar tersebut terlihat bahwa angka iodin sangat mempengaruhi emisi NO<sub>x</sub> seiring dengan bertambahnya angka iodin dan bertambahnya prosentasi biodiesel pada solar dex, hal ini terlihat dari kenaikan nilai emisi NO<sub>x</sub> pada setiap varian iodin di setiap jenis bahan bakar yang digunakan. Dari gambar 4.8 dapat dilihat pula bahwa nilai NO<sub>x</sub> pada setiap jenis bahan bakar di setiap tingkat beban lebih besar dibandingkan dengan nilai NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh solar dex.



Gambar 4.8 Grafik konsentrasi NO<sub>x</sub> dari varian bahan bakar pada masing-masing beban



Nilai emisi NOx yang dihasilkan oleh solar dex murni pada beban 25% sebesar 1376 ppm, sedangkan yang dihasilkan oleh BA1 sebesar 1507 ppm (naik 9,52%), BA2 sebesar 1733 ppm (naik 25,94%), BB1 sebesar 1663 ppm (naik 20,86%), BB2 sebesar 1734 ppm (naik 26,02%), BC1 sebesar 1757 ppm (naik 27,67%) dan BC2 sebesar 1772 ppm (naik 28,78%). Dengan demikian pada beban 25% kenaikan nilai NOx rata-rata sebesar 23,13%.

Pada beban 50% nilai NOx yang dihasilkan oleh solar dex murni sebesar 1593 ppm, sedangkan yang dihasilkan oleh BA1 sebesar 1647 (naik 3,39%), BA2 sebesar 1680 ppm (naik 5,45%), BB1 sebesar 1736 ppm (naik 8,98%), BB2 sebesar 1745 ppm (naik 9,54%), BC1 sebesar 1715 ppm (naik 7,66%) dan BC2 sebesar 1958 ppm (naik 22,91%). Pada beban 50% kenaikan nilai NOx rata-rata sebesar 9,66%.

Pada beban 75% Solar Dex murni menghasilkan nilai NOx sebesar 2016 ppm, sedangkan yang dihasilkan oleh BA1 sebesar 2010 (turun 0,30%), BA2 sebesar 1949 ppm (turun 3,32%), BB1 sebesar 2032 ppm (naik 0,80%), BB2 sebesar 2026 ppm (naik 0,50%), BC1 sebesar 2059 ppm (naik 1,98%) dan BC2 sebesar 2286 ppm (naik 13,40%). Pada beban 75 % jenis bahan bakar BA1 dan BA2 terjadi penurunan dengan rata-rata 1,81%, sedangkan jenis bahan bakar BB1, BB2, BC1 dan BC2 terjadi kenaikan dengan rata-rata 4,16%.

Pada beban 100% nilai NOx yang dihasilkan oleh solar dex murni sebesar 2035 ppm, sedangkan yang dihasilkan oleh BA1 sebesar 2083 (naik 0,15%), BA2 sebesar 2032 ppm (turun 0,15%), BB1 sebesar 2134 ppm (naik 4,86%), BB2 sebesar 2154 ppm (naik 5,85%), BC1 sebesar 2109 ppm (naik 3,64%) dan BC2 sebesar 1848 ppm (turun 9,20%). Pada beban 100% jenis bahan bakar BA2 dan BC2 terjadi penurunan nilai NOx, sedangkan untuk jenis bahan bakar BA1, BB1, BB2 dan BC1 terjadi kenaikan NOx dengan rata-rata 4,18%.

Dari hasil pengujian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa iodine sangat mempengaruhi emisi NOx seiring dengan bertambahnya angka iodine dan bertambahnya prosentasi biodiesel, terjadi fluktuasi yang sangat signifikan pada jenis bahan bakar BA1 dan BC2, sedangkan pada BA2, BB1, BB2 dan BC1 tidak terjadi fluktuasi.

#### **4.5 Perbandingan Emisi NOx Antara Biodiesel Dengan Standar IMO TIER III**

Metode pengujian yang dilakukan mengikuti prosedur pada regulasi IMO MARPOL annex VI yang aturannya tentang pencemaran udara yang disebabkan oleh aktivitas kapal. Tipe

pengujiannya adalah *cycle type* E2, tipe ini dipilih karena *engine* yang diuji dapat digunakan sebagai penggerak utama kapal.

Regulasi IMO MARPOL annex VI mengenai emisi dituangkan dalam beberapa TIER yang salah satunya adalah TIER III yang berlaku mulai tahun 2016, Dalam TIER III diatur batasan-batasan emisi NO<sub>x</sub> berdasarkan putaran engine.

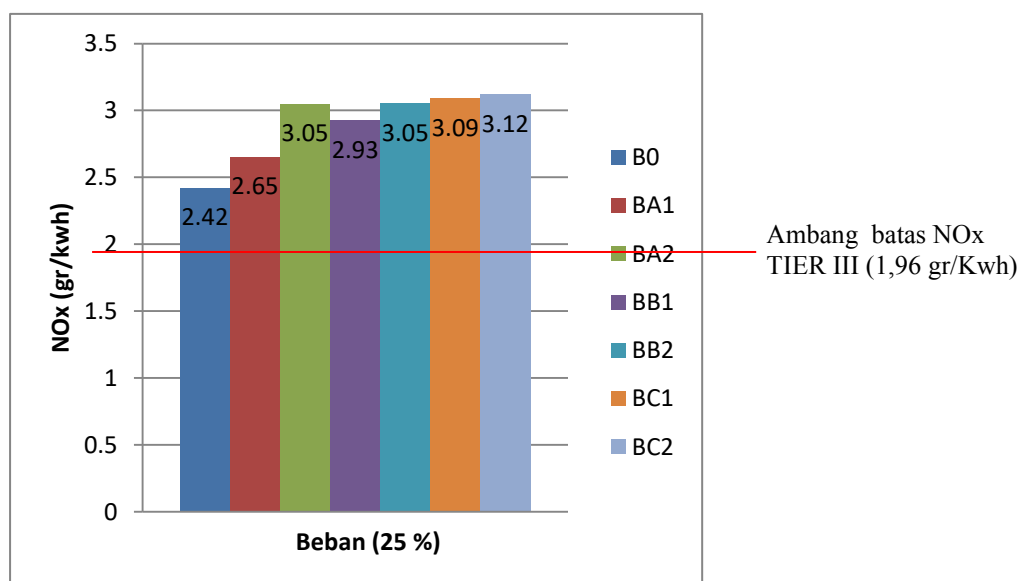
Untuk menentukan apakah emisi NO<sub>x</sub> hasil pengujian memenuhi atau melebihi ambang batas seperti yang tertuang dalam MARPOL annex VI TIER III maka dibuatlah perbandingan antara nilai NO<sub>x</sub> yang dihasilkan dengan nilai yang telah ditetapkan pada MARPOL annex VI TIER III.

Pengujian yang dilakukan adalah dengan metode putaran tetap beban berubah, putaran yang digunakan adalah pada putaran tertinggi (2200 rpm) dan terdiri dari empat tingkatan beban yaitu 1000 watt (25%), 2000 watt (50%), 3000 watt (75%) dan 4000 watt (100%).

Nilai emisi NO<sub>x</sub> maksimum yang diperbolehkan dalam regulasi MARPOL annex VI TIER III pada putaran 2200 adalah 2.0 g/kwh dengan weight factor masing-masing; 0,15 pada power 25% dan 50%, 0,5 pada power 75% serta 0,2 pada power 100%.

#### 4.5.1 Pengujian Emisi NO<sub>x</sub> Pada Beban 25%

Hasil pengujian emisi NO<sub>x</sub> pada pada beban 25% adalah seperti yang terlihat pada gambar 4.9, dari gambar tersebut terlihat bahwa emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh masing-masing jenis bahan bakar adalah berbeda.



Gambar 4.9 Berat NO<sub>x</sub> pada beban 25%

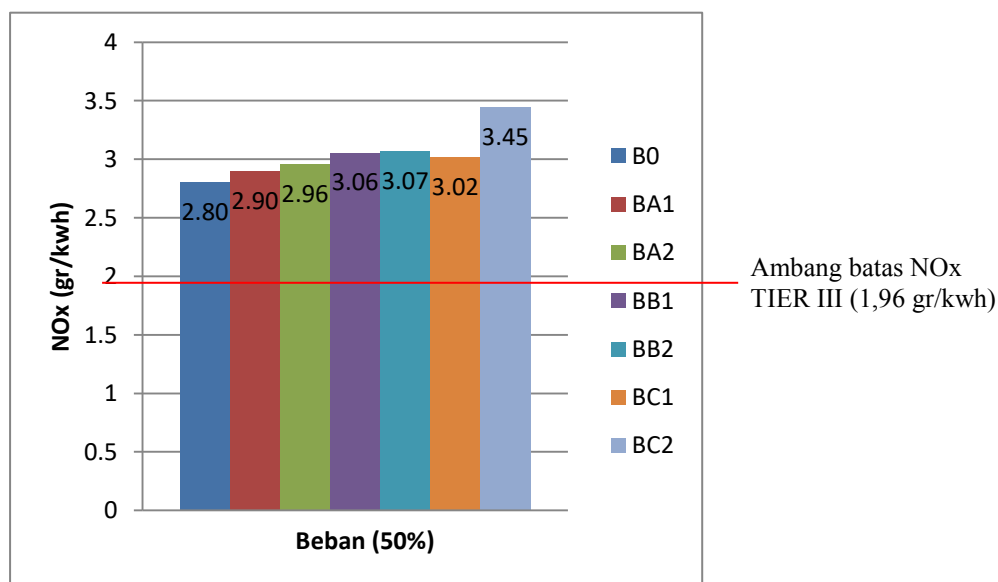
Jenis bahan bakar campuran biodiesel yang menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> paling kecil adalah BA1 yaitu 2,65 gr/Kwh sedangkan campuran biodiesel yang menghasilkan emisi paling besar adalah BA2 dan BB2 yaitu sebesar 3,05 gr/Kwh. Bila membandingkan antara campuran biodiesel dengan solar dex murni maka solar dex murni adalah yang paling sedikit menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> yaitu sebesar 2,42 gr/Kwh.

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa berat NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh setiap jenis bahan bakar berada di atas ambang batas berat NO<sub>x</sub> yang dianjurkan oleh MARPOL annex VI TIER III.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diambil kesimpulan bahwa berat NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh setiap jenis bahan bakar tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh IMO pada MARPOL annex VI TIER III.

#### 4.5.2 Pengujian Emisi NO<sub>x</sub> Pada Beban 50%

Pengujian emisi NO<sub>x</sub> pada beban 50% menunjukkan bahwa berat NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh masing-masing jenis bahan bakar adalah berbeda (lihat gambar 4.10). Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran biodiesel jenis BA1 adalah yang menghasilkan berat NO<sub>x</sub> terendah dibandingkan dengan jenis campuran biodiesel lainnya yaitu sebesar 2,90 gr/kwh dan yang tertinggi adalah BC2 yaitu sebesar 3,45 gr/kwh.



Gambar 4.10 Berat NO<sub>x</sub> pada beban 50%

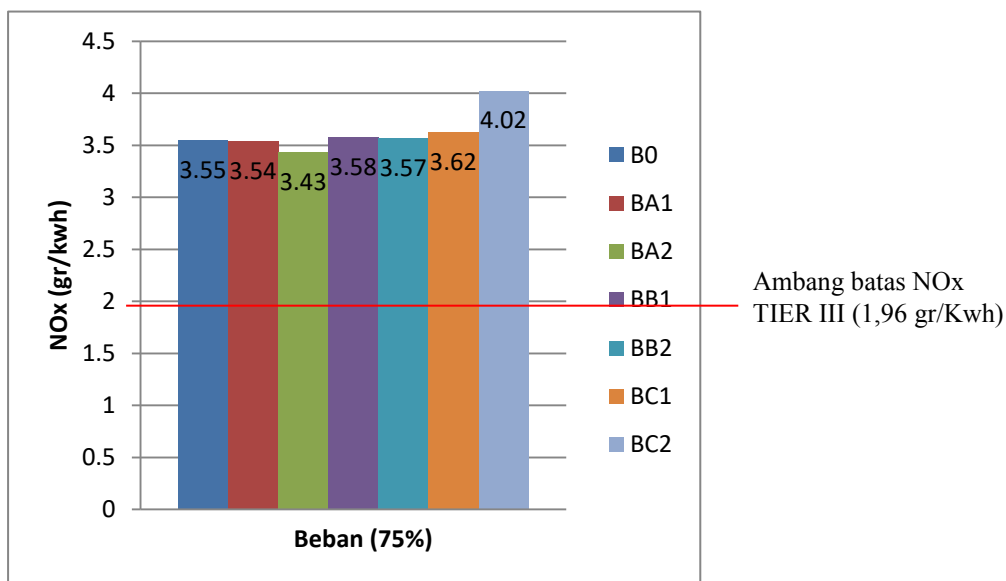
Dari jenis bahan bakar campuran biodiesel yang digunakan pada pengujian di beban 50%, menunjukkan bahwa berat emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh solar dex murni (B0) lebih rendah (2,80 gr/kwh) dibandingkan dengan semua jenis campuran biodiesel yang digunakan (antara 2,90-3,45 gr/kwh). Dari gambar 4.10 memperlihatkan dari semua jenis bahan bakar

yang digunakan semuanya berada diatas ambang batas maksimum yang ditetapkan oleh MARRPOL *annex* VI TIER III.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada beban 50% seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10, dapat diambil kesimpulan bahwa berat NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh semua jenis bahan bakar tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh IMO pada MARRPOL *annex* VI TIER III.

#### 4.5.3 Pengujian Emisi NO<sub>x</sub> Pada beban 75%

Hasil pengujian emisi NO<sub>x</sub> pada beban 75% dengan menggunakan jenis bahan bakar adaah seperti yang tertera pada gambar 4.11, gambar tersebut memperlihatkan jenis campuran biodiesel BA2 adalah yang menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> paling rendah yaitu sebesar 3,43 gr/kwh dan yang menghasilkan emisi NO<sub>x</sub> paling besar adalah BC2 yaitu sebesar 4,02 gr/kwh, sedangkan jenis bahan bakar lainnya berkisar antara 3,54-3,62 gr/kwh.



Gambar 4.11 Berat NO<sub>x</sub> pada beban 70%

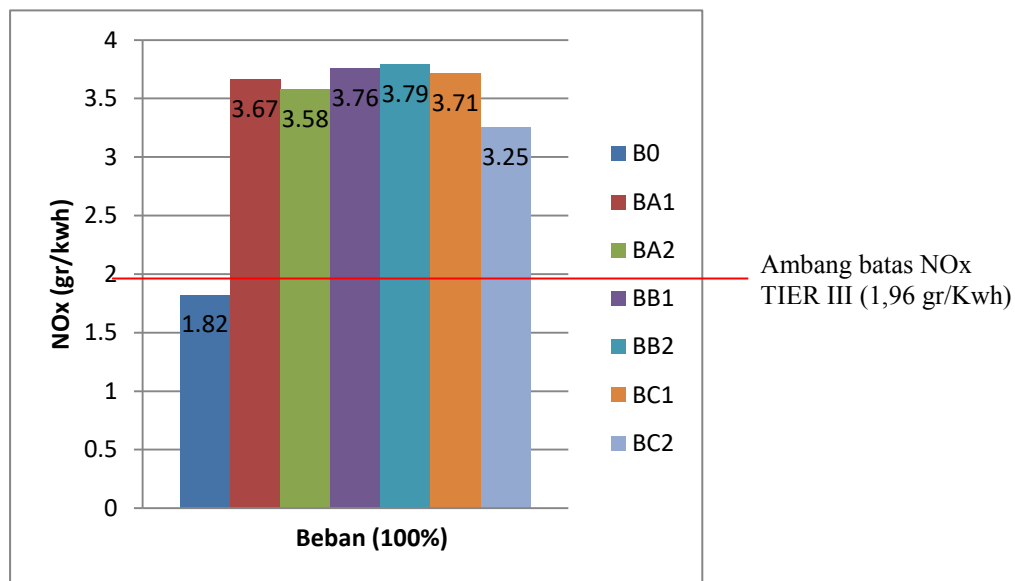
Pengujian pada beban 70% ini menunjukkan berat emis NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh campuran biodiesel jenis BA2 dan BA1 lebih kecil dibanding dengan jenis bahan bakar solar dex murni (B0) dimana berat emisi NO<sub>x</sub> pada masing-masing campuran biodiesel tersebut adalah sebesar 3,43 gr/kwh dan 3,54 gr/kwh sedangkan berat NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh B0 sebesar 3,55 gr/kwh.

Berdasarkan hasil pengujian emisi NO<sub>x</sub> yang dilakukan pada beban 75% dapat disimpulkan bahwa semua jenis bahan bakar baik campuran biodiesel maupun solar dex murni tidak

memenuhi standar yang dikeluarkan oleh IMO MARRPOL *annex* VI TIER III karena berat emisi NOx yang dihasilkan lebih besar dari ambang batas yang diperbolehkan.

#### 4.5.4 Pengujian Emisi NOx Pada Beban 100%

Pengujian emis NOx pada beban 100% adalah merupakan pengujian beban terbesar pada eksperimen ini. Hasil pengujian pada beban penuh adalah seperti yang terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Berat NOx pada beban 100%

Pengujian pada beban penuh menunjukkan bahwa berat NOx yang dihasilkan oleh campuran biodiesel jenis BC2 adalah yang merupakan terendah yaitu sebesar 3,25 gr/kwh dan yang tertinggi adalah campuran biodiesel jenis BB2 yaitu sebesar 3,79 gr/kwh. Hasil pengujian dari semua jenis campuran biodiesel yang digunakan pada pengujian dibeban penuh menunjukkan bahwa emisi NOx yang dihasilkan lebih tinggi (antara 3,25-3,79 gr/kwh) dari emisi NOx yang dihasilkan oleh solar dex murni (1,82 gr/kwh).

Berdasarkan hasil pengujian pada beban penuh (100%) maka dapat disimpulkan bahwa, emisi NOx yang dihasilkan oleh semua jenis campuran biodiesel tidak memenuhi standar yang MARRPOL *annex* VI TIER III karena melebihi ambang batas yang telah ditetapkan.

Secara keseluruhan dari pengujian yang dilakukan, mulai dari beban terendah 25% sampai dengan beban tertinggi 100% diperoleh hasil bahwa terjadi kenaikan berat emisi NOx pada beberapa jenis campuran biodiesel pada tingkat beban tertentu seiring dengan bertambahnya beban namun demikian ada beberapa jenis campuran biodiesel yang terjadi fluktuatif.

Jenis campuran biodiesel BA1, BB1 dan BB2 terjadi peningkatan (dari beban rendah ke beban tinggi) seiring dengan bertambahnya beban, sedangkan BA2, BC1 dan BC2 peningkatan hanya terjadi pada beban tertentu dan fluktuatif seiring dengan bertambahnya beban (lihat tabel 4.3).

Tabel 4.3 Perubahan emisi NOx berdasarkan beban

<b>Jenis Biodiesel</b>	<b>Beban (%)</b>				<b>Peningkatan (%)</b>		
	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>25 ke 50</b>	<b>50 ke 75</b>	<b>75 ke 100</b>
BA1	2.65	2.90	3.54	3.67	0.25	0.64	0.13
BA2	3.05	2.96	3.43	3.58	-0.09	0.47	0.15
BB1	2.93	3.06	3.58	3.76	0.13	0.52	0.18
BB2	3.05	3.07	3.57	3.79	0.02	0.49	0.23
BC1	3.09	3.02	3.62	3.71	-0.07	0.61	0.09
BC2	3.12	3.45	4.02	3.25	0.33	0.58	-0.77

Keterangan: tanda (-) menunjukkan terjadinya penurunan emisi NOx

Pada tabel 4.3 memperlihatkan perubahan nilai emisi NOx pada masing-masing jenis campuran biodiesel. Pada tabel tersebut terlihat bahwa adanya peningkatan nilai emisi pada jenis campuran biodiesel BA1, BB1 dan BB2 seiring dengan bertambahnya beban. Sedangkan pada jenis BA2 dan BC1 terjadi fluktuasi pada beban 50% dan pada BC2 terjadi fluktuasi pada beban 100%.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian diperoleh beberapa kesimpulan seperti dibawah ini:

1. Pengaruh angka iodin terhadap performa *engine*
  - Angka iodin tidak mempengaruhi daya, torsi, dan BMEP pada *engine*.
  - Angka iodin cukup mempengaruhi SFOC dan efisiensi thermal pada tingkat beban dan putaran tertentu.
  - Semakin besar beban maka semakin besar daya yang dihasilkan oleh engine seiring dengan bertambahnya putaran engine.
  - Terjadi peningkatan torsi pada setiap tingkat beban seiring dengan bertambahnya daya dan putaran engine.
  - Semakin besar daya yang dihasilkan SFOC semakin kecil seiring dengan bertambahnya putaran engine.
  - Terjadi peningkatan BMEP seiring dengan bertambahnya beban dan putaran engine.
  - Tidak terjadi fluktuasi daya, torsi dan BMEP disetiap tingkat putaran, sedangkan pada SFOC dan efisiensi thermal terjadi fluktuasi
2. Pengaruh angka iodin terhadap emisi
  - Angka iodin mempengaruhi emisi yang dihasilkan oleh *engine*
  - Semakin besar beban maka semakin kecil CO yang dihasilkan oleh engine
  - Semakin besar beban maka semakin besar pula CO<sub>2</sub> seiring dengan bertambahnya putaran engine
  - Terjadi fluktuasi nilai NO<sub>x</sub> yang sangat signifikan pada beberapa jenis bahan bakar
  - Semakin besar nilai emisi CO maka semakin kecil nilai emisi CO<sub>2</sub>.
3. Perbandingan nilai emisi NO<sub>x</sub> antara biodiesel dengan nilai standar IMO TIER III

Semua jenis campuran biodiesel tidak memenuhi standar emisi NO<sub>x</sub> yang ditetapkan oleh IMO TIER III karena emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan berada diatas ambang batas.



## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil eksperimen dengan variasi angka iodine yang ada pada properties biodiesel dengan jenis iodin *potassium iodate* maka disarankan untuk penelitian selanjutnya perlu:

1. Adanya variasi iodine yang lebih besar dari variasi yang digunakan pada eksperimen ini dengan jenis yang sama dengan maksud sebagai acuan perbandingan dengan eksperimen ini.
2. Menggunakan jenis iodin lain yang lebih praktis dengan maksud untuk mendapatkan angka iodin yang berbeda dengan eksperimen ini sebagai acuan untuk membandingkan angka iodin yang ada pada properties biodiesel yang telah diperoleh di eksperimen ini.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Alhaq, S. 2016. **Analisa Emisi Berbasis Eksperimen dan Kelayakan Ekonomis Bahan Bakar Biodiesel Umbi Porang (*Amarphallus Onchophillus*)**, Skripsi S-1. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. FTK-ITS, Surabaya.
- Aziz, I, Nurbayti, S. dan Ulum B. 2011. **Pembuatan produk biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi**. Journal Valensi Vol. 2 No. 3, (443-448).
- Choerniadi, T.R. 2015. **Biofuel Melawan Ketidak Pastian Energi**, Ediesi pertama, Bursa Ilmu.
- Fathallah A.Z.M. 2002. **Aplikasi Penggunaan Waste Methyl Ester Pada High Speed Marine Diesel Engine**. Seminar Nasional Teori Aplikasi Teknologi Kelautan 2002 FTK ITS.
- Havendri A. 2008. **Kaji Eksperimental Prestasi Dan Emisi Gas Buang Motor Bakar Diesel Menggunakan Variasi Campuran Bahan Bakar Biodiesel Minyak Jarak (*Jatropha Curcas L*) Dengan Solar**. Jurnal Teknik. No. 29 Vol.1 Thn. XV.
- International Maritime Organization. 2015. **MARPOL Annex VI and NTC 2008 with guidelines for implementation**. IMO Sales Number IB664E. Copyright © International Maritime Organization 2015
- Machmud S. 2009. **Pengaruh Perbandingan Solar-Biodiesel (Minyak Jelantah) Terhadap Emisi Gas Buang Pada Motor Diesel**. JANATEKNIK. Vol. 11, No. 2
- National Renewable Energy Laboratory. 2009. **Biodiesel Handling and Use Guide**, 4<sup>th</sup> Editions, US Departement of Energy Springgfield, VA.
- Panggabean, A. G. 2009. **Penentuan Bilangan Iodin Dalam Crude Palm Stearin dan Refined Bleached Deodorized Palm Stearin**. Kimia Analis. FMIPA-Universitas Sumatera Utara. Medan (Karya Ilmian Program Studi D-III).
- Pramesti, L. 2013. **Analisa Pengaruh Angka Iodin Pada Biodiesel Dari Waste Cooking Oil Terhadap Laju Keausan Dan Terbentuknya Carbon Deposit Pada Komponen Small Marine Diesel Engine**. Tesis Master. Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan. FTK-ITS. Surabaya.
- Soedarmanto, H. dan Adawiyah R. 2013. **Kajian Emisi Gas Buang Biodiesel Minyak Goreng Bekas Pada Mesin Diesel**. Jurnal POROS TEKNIK, Volume 5, No. 2, 13 : 81 – 84.
- Umami, V.A. 2015. **Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah Dengan Gelombang Mikro**. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik. UNNES Semarang.

Wakhid, M.A. 2013. **Analisis Perbandingan Performa dan Emisi NOx Motor Diesel Menggunakan Bahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah (Waste Cooking Oil) dengan Bio Solar**. Skripsi S-1. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. FTK-ITS. Surabaya.

## **LAMPIRAN**

## 1. Hasil Pengujian Performa *Engine*

1.1 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar B0 (Solar Dex Murni)

Putaran Engine (rpm) (rpm)		Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Jumlah Bahan Bakar (ml)	Waktu (S)
Kontrol	Aktual			Tegangan (V)	Arus (A)		
1800	1800	0	1136	0	0	20	152
	1802	1000	1138	153	3.4	20	123
	1801	2000	1135	158	7.3	20	98
	1801	3000	1135	161	11.2	20	79
	1802	4000	1136	160	15.1	20	65
	1803	5000	1133	156	18.6	20	55
1900	1902	0	1202	0	0	20	150
	1901	1000	1201	162	3.5	20	105
	1901	2000	1201	169	7.6	20	93
	1902	3000	1200	173	11.7	20	69
	1903	4000	1199	170	15.5	20	60
	1903	5000	1198	167	19.3	20	53
2000	2003	0	1266	0	0	20	147
	2001	1000	1261	175	3.6	20	103
	2001	2000	1261	181	7.8	20	90
	2002	3000	1262	183	12	20	67
	2002	4000	1262	183	16.1	20	59
	2000	5000	1259	178	20	20	49
2100	2103	0	1329	0	0	20	140
	2103	1000	1329	188	3.8	20	101
	2101	2000	1323	194	8.1	20	84
	2101	3000	1323	196	12.5	20	63
	2102	4000	1320	195	16.5	20	55
	2102	5000	1323	191	20.7	20	44
2200	2203	0	1394	0	0	20	134
	2204	1000	1392	204	4	20	95
	2204	2000	1390	206	8.4	20	80
	2205	3000	1388	209	13	20	58
	2201	4000	1383	205	17.2	20	47
	2203	5000	1383	202	21.3	20	40

1.2 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BA1 (Solar Dex 80% dan Biodiesel 20% dengan Iodin Number 64,59)

Putaran Engine (rpm)		Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Jumlah Bahan Bakar (ml)	Waktu (S)
Kontrol	Aktual			Tegangan (V)	Arus (A)		
1800	1800	0	1137	0	0	20	151
	1802	1000	1138	152	3.4	20	121
	1803	2000	1138	159	7.2	20	97
	1800	3000	1136	160	11.2	20	80
	1802	4000	1135	160	15	20	59
	1802	5000	1134	162	17.8	20	57
1900	1900	0	1198	0	0	20	148
	1901	1000	1199	162	3.5	20	103
	1901	2000	1197	170	7.5	20	91
	1900	3000	1196	172	11.6	20	67
	1903	4000	1197	171	15.5	20	59
	1903	5000	1196	167	19.3	20	52
2000	2003	0	1267	0	0	20	144
	2003	1000	1265	178	3.6	20	102
	2003	2000	1265	182	7.8	20	89
	2002	3000	1263	185	12	20	65
	2002	4000	1261	182	16.5	20	58
	2003	5000	1253	184	19.2	20	51
2100	2101	0	1319	0	0	20	139
	2101	1000	1326	189	3.8	20	110
	2102	2000	1327	200	8.3	20	86
	2101	3000	1322	201	12.7	20	68
	2101	4000	1321	199	16.9	20	58
	2101	5000	1320	193	20.9	20	49
2200	2201	0	1387	0	0	20	132
	2201	1000	1386	203	4	20	94
	2201	2000	1387	208	8.5	20	86
	2201	3000	1386	213	13	20	61
	2201	4000	1383	208	17.3	20	51
	2201	5000	1383	207	21.5	20	42

1.3 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BA2 (Solar Dex 70% dan Biodiesel 30% dengan Iodin Number 64,59)

Putaran Engine (rpm)		Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Jumlah Bahan Bakar (ml)	Waktu (S)
Kontrol	Aktual			Tegangan (V)	Arus (A)		
1800	1801	0	1135	0	0	20	150
	1801	1000	1137	150	3.3	20	120
	1803	2000	1138	159	7.2	20	95
	1801	3000	1135	161	11.2	20	78
	1804	4000	1135	160	14.9	20	63
	1802	4500	1133	156	18.5	20	54
1900	1801	0	1203	0	0	20	150
	1801	1000	1202	163	3.5	20	118
	1803	2000	1201	170	7.5	20	92
	1801	3000	1200	172	11.6	20	68
	1804	4000	1199	171	15.4	20	60
	1802	5000	1198	168	19.3	20	53
2000	2000	0	1263	0	0	20	142
	2000	1000	1261	176	3.6	20	103
	2001	2000	1260	181	7.8	20	88
	2000	3000	1260	184	12	20	66
	2003	4000	1261	183	16	20	55
	2002	5000	1258	178	19.9	20	50
2100	2101	0	1328	0	0	20	138
	2101	1000	1329	190	3.8	20	101
	2100	2000	1323	193	8.1	20	86
	2100	3000	1323	196	12.5	20	66
	2103	4000	1321	194	16.6	20	59
	2100	5000	1322	195	20.5	20	49
2200	2200	0	1389	0	0	20	129
	2200	1000	1389	203	3.9	20	104
	2201	2000	1387	206	8.4	20	84
	2203	3000	1388	208	12.9	20	62
	2200	4000	1380	205	17.2	20	50
	2202	5000	1382	200	21.2	20	44



1.4 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BB1 (Solar Dex 80% dan Biodiesel 20% dengan Iodin Number 67,14)

Putaran Engine (rpm)		Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Jumlah Bahan Bakar (ml)	Waktu (S)
Kontrol	Aktual			Tegangan (V)	Arus (A)		
1800	1802	0	1139	0	0	20	160
	1801	1000	1137	150	3.3	20	135
	1800	2000	1134	159	7.2	20	100
	1800	3000	1133	162	11.1	20	70
	1804	4000	1135	160	14.9	20	60
	1801	5000	1132	156	18.5	20	50
1900	1901	0	1200	0	0	20	142
	1900	1000	1199	162	3.5	20	119
	1901	2000	1198	169	7.5	20	90
	1900	3000	1165	171	11.6	20	72
	1903	4000	1197	170	15.4	20	58
	1902	5000	1195	169	19.3	20	53
2000	2001	0	1263	0	0	20	138
	2001	1000	1261	177	3.6	20	103
	2000	2000	1262	182	7.8	20	86
	2000	3000	1261	184	12	20	65
	2002	4000	1261	183	16.1	20	55
	2003	5000	1257	179	20	20	48
2100	2103	0	1329	0	0	20	130
	2100	1000	1327	189	3.8	20	103
	2103	2000	1325	194	8.1	20	85
	2101	3000	1323	196	12.5	20	64
	2103	4000	1322	194	16.6	20	58
	2103	5000	1321	195	20.5	20	48
2200	2201	0	1391	0	0	20	126
	2200	1000	1388	204	3.9	20	93
	2201	2000	1387	207	8.4	20	84
	2201	3000	1386	209	12.9	20	60
	2200	4000	1382	207	17.2	20	46
	2203	5000	1385	205	21.4	20	41

1.5 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis Bahan Bakar BB2 (Solar Dex 70% dan Biodiesel 30% dengan Iodin Number 67,14)

Putaran Engine (rpm)		Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Jumlah Bahan Bakar (ml)	Waktu (S)
Kontrol	Aktual			Tegangan (V)	Arus (A)		
1800	1802	0	1140	0	0	20	160
	1800	1000	1139	158	4.3	20	137
	1803	2000	1138	168	9.7	20	102
	1800	3000	1139	168	13.8	20	73
	1801	4000	1138	180	18.8	20	64
	1801	5000	1136	196	20.8	20	55
1900	1901	0	1215	0	0	20	145
	1900	1000	1210	170	4.6	20	117
	1900	2000	1200	175	9.8	20	82
	1900	3000	1199	185	14.2	20	69
	1901	4000	1192	195	17.8	20	61
	1901	5000	1190	215	21.6	20	49
2000	2000	0	1282	0	0	20	136
	2001	1000	1278	172	5.2	20	105
	2001	2000	1276	193	10.2	20	88
	2000	3000	1274	198	14.2	20	73
	2000	4000	1272	200	18	20	60
	2000	5000	1270	218	23.2	20	51
2100	2103	0	1334	0	0	20	124
	2101	1000	1330	192	4.1	20	119
	2100	2000	1330	200	9.8	20	98
	2100	3000	1329	206	14.8	20	76
	2101	4000	1327	208	19.2	20	66
	2101	5000	1325	218	24.8	20	52
2200	2200	0	1439	0	0	20	122
	2200	1000	1437	202	5.4	20	93
	2200	2000	1435	204	11.6	20	86
	2203	3000	1432	208	15.8	20	64
	2200	4000	1430	214	20.8	20	54
	2200	5000	1428	219	27.5	20	41

1.6 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BC1 (Solar Dex 80% dan Biodiesel 20% dengan Iodin Number 58,17)

Putaran Engine (rpm)		Beban (Watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Jumlah Bahan Bakar (ml)	Waktu (Det)
Kontrol	Aktual			Tegangan (V)	Arus (A)		
1800	1801	0	1146	0	0	20	144
	1801	1000	1142	157	4.3	20	122
	1801	2000	1140	169	9.6	20	92
	1801	3000	1138	168	13.4	20	75
	1800	4000	1137	181	18.7	20	61
	1801	5000	1135	192	21.4	20	51
1900	1900	0	1208	0	0	20	141
	1901	1000	1206	171	4.6	20	116
	1901	2000	1202	178	8.6	20	90
	1900	3000	1200	182	13.6	20	70
	1900	4000	1198	190	17.8	20	58
	1902	5000	1200	210	21.8	20	50
2000	2001	0	1268	0	0	20	140
	2001	1000	1267	188	4.6	20	102
	2001	2000	1265	191	9.6	20	94
	2001	3000	1262	197	13.2	20	78
	2001	4000	1260	196	18.4	20	63
	2001	5000	1260	216	23.8	20	48
2100	2101	0	1330	0	0	20	139
	2101	1000	1327	192	4.6	20	110
	2101	2000	1326	195	9.2	20	100
	2101	3000	1324	197	13.8	20	71
	2100	4000	1320	202	18.2	20	72
	2101	5000	1319	216	25.8	20	50
2200	2201	0	1396	0	0	20	118
	2202	1000	1394	209	5.4	20	93
	2200	2000	1392	214	10.6	20	82
	2201	3000	1390	216	15.8	20	58
	2200	4000	1388	217	20.8	20	52
	2200	5000	1386	219	27.8	20	42

1.7 Tabel hasil pengujian performa *engine* dengan jenis bahan bakar BC2 (Solar Dex 70% dan Biodiesel 30% dengan Iodin Number 58,17)

Putaran Engine (rpm) (rpm)		Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Jumlah Bahan Bakar (ml)	Waktu (S)
Kontrol	Aktual			Tegangan (V)	Arus (A)		
1800	1801	0	1140	0	0	20	163
	1801	1000	1139	157	4.3	20	114
	1801	2000	1138	166	9.8	20	94
	1801	3000	1136	167	13.5	20	72
	1802	4000	1135	177	19.2	20	60
	1800	5000	1133	192	21.2	20	51
1900	1901	0	1206	0	0	20	157
	1901	1000	1204	167	4.7	20	115
	1902	2000	1202	170	8.2	20	100
	1900	3000	1200	173	13.9	20	75
	1900	4000	1200	189	17.9	20	58
	1901	5000	1199	198	22.8	20	51
2000	2000	0	1274	0	0	20	130
	2000	1000	1272	179	4.8	20	115
	2002	2000	1270	188	9.1	20	102
	2000	3000	1268	193	12.8	20	82
	2000	4000	1265	197	17.2	20	68
	2003	5000	1264	211	24.3	20	49
2100	2101	0	1332	0	0	20	137
	2101	1000	1330	191	4.2	20	119
	2100	2000	1328	194	8.2	20	110
	2100	3000	1326	200	12.6	20	81
	2100	4000	1325	215	15.8	20	64
	2100	5000	1323	219	25.8	20	48
2200	2200	0	1398	0	0	20	120
	2202	1000	1397	209	5.4	20	89
	2201	2000	1395	211	10.8	20	81
	2201	3000	1393	214	15.8	20	62
	2202	4000	1392	217	20.8	20	50
	2202	5000	1390	219	28.5	20	40

## 2. Hasil Pengujian Emisi

Tabel hasil Pengujian emisi

No	Bahan Bakar	Beban %)	Jenis Emisi			
			CO (ppm)	Nox (ppm)	CO2 (%)	O2 (%)
1	B0	25	1274	1376	2.10	18.10
		50	764	1593	2.60	17.40
		75	499	2016	3.30	16.50
		100	828	1035	4.00	15.60
2	BA1	25	1032	1507	1.70	18.70
		50	938	1647	2.30	17.80
		75	560	2010	3.10	16.80
		100	739	2083	3.70	16.00
3	BA2	25	1410	1733	2.10	19.20
		50	1239	1680	2.20	18.00
		75	689	1949	2.90	17.10
		100	720	2032	3.60	16.10
4	BB1	25	1663	1663	1.80	18.10
		50	1183	1736	2.20	18.00
		75	1092	2032	2.90	17.00
		100	953	2134	3.70	16.00
5	BB2	25	1867	1734	2.00	18.30
		50	1318	1745	2.10	18.10
		75	812	2026	2.70	17.30
		100	871	2154	3.40	16.30
6	BC1	25	1750	1757	2.20	18.00
		50	1204	1715	2.20	18.00
		75	723	2059	2.60	17.40
		100	733	2109	3.38	16.50
7	BC2	25	1865	1772	1.80	18.50
		50	1058	1958	2.10	18.20
		75	858	2286	2.60	17.50
		100	690	1846	3.90	15.70

### 3. Hasil Pengolahan Data Performa *Engine*

#### 3.1 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar B0

Putaran Engine (rpm)		Beban (watt)	Putaran Alumin. (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m <sup>3</sup> )	Waktu (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/m <sup>3</sup> )	Eff. Slip (%)	Daya (KW)	FCR (g/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m <sup>2</sup> )	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
Kontrol	Aktual			Teg. (V)	Arus (A)												
1800	1800	0	1136	0	0	0.00002	152	0.042	830,000	0.8394	0.0000	393.1579	0.0000	0.0000	0.00	42,537,888	0.0000
	1802	1000	1138	153	3.4	0.00002	123	0.034	830,000	0.8399	0.6558	485.8537	740.8848	3.4808	14120.72	42,537,888	11.4229
	1801	2000	1135	158	7.3	0.00002	98	0.027	830,000	0.8382	1.4570	609.7959	418.5186	7.7251	31339.32	42,537,888	20.2214
	1801	3000	1135	161	11.2	0.00002	79	0.022	830,000	0.8382	2.2779	756.4557	332.0854	12.0840	49022.41	42,537,888	25.4845
	1802	4000	1136	160	15.1	0.00002	65	0.018	830,000	0.8384	3.0510	919.3846	301.3366	16.1854	65660.82	42,537,888	28.0850
	1803	5000	1133	156	18.6	0.00002	55	0.015	830,000	0.8358	3.6760	1086.5455	295.5783	19.4900	79066.99	42,537,888	28.6322
1900	1902	0	1202	0	0	0.00002	150	0.042	830,000	0.8405	0.0000	398.4000	0.0000	0.0000	0.00	42,537,888	0.0000
	1901	1000	1201	162	3.5	0.00002	105	0.029	830,000	0.8403	0.7145	569.1429	796.5759	3.5890	14559.90	42,537,888	10.6243
	1901	2000	1201	169	7.6	0.00002	93	0.026	830,000	0.8403	1.6185	642.5806	397.0236	8.1343	32999.24	42,537,888	21.3162
	1902	3000	1200	173	11.7	0.00002	69	0.019	830,000	0.8391	2.5541	866.0870	339.1004	12.8364	52074.58	42,537,888	24.9573
	1903	4000	1199	170	15.5	0.00002	60	0.017	830,000	0.8380	3.3294	996.0000	299.1487	16.7245	67847.89	42,537,888	28.2904
	1903	5000	1198	167	19.3	0.00002	53	0.015	830,000	0.8373	4.0759	1127.5472	276.6349	20.4635	83016.34	42,537,888	30.5928
2000	2003	0	1266	0	0	0.00002	147	0.041	830,000	0.8406	0.0000	406.5306	0.0000	0.0000	0.00	42,537,888	0.0000
	2001	1000	1261	175	3.6	0.00002	103	0.029	830,000	0.8381	0.7959	580.1942	729.0023	3.7963	15400.62	42,537,888	11.6091
	2001	2000	1261	181	7.8	0.00002	90	0.025	830,000	0.8381	1.7835	664.0000	372.2982	8.5157	34546.55	42,537,888	22.7319
	2002	3000	1262	183	12	0.00002	67	0.019	830,000	0.8384	2.7734	891.9403	321.6080	13.2420	53720.07	42,537,888	26.3148
	2002	4000	1262	183	16.1	0.00002	59	0.016	830,000	0.8384	3.7209	1012.8814	272.2105	17.7575	72038.43	42,537,888	31.0901
	2000	5000	1259	178	20	0.00002	49	0.014	830,000	0.8372	4.5022	1219.5918	270.8871	21.4859	87163.93	42,537,888	31.2420
2100	2103	0	1329	0	0	0.00002	140	0.039	830,000	0.8215	0.0000	426.8571	0.0000	0.0000	0.00	42,537,888	0.0000
	2103	1000	1329	188	3.8	0.00002	101	0.028	830,000	0.8215	0.9207	591.6832	642.6185	4.1830	16969.59	42,537,888	13.1696
	2101	2000	1323	194	8.1	0.00002	84	0.023	830,000	0.8186	2.0325	711.4286	350.0242	9.2339	37460.07	42,537,888	24.1785
	2101	3000	1323	196	12.5	0.00002	63	0.018	830,000	0.8186	3.1689	948.5714	299.3350	14.4105	58460.32	42,537,888	28.2728
	2102	4000	1320	195	16.5	0.00002	55	0.015	830,000	0.8164	4.1731	1086.5455	260.3696	18.9768	76985.01	42,537,888	32.5040
	2102	5000	1323	191	20.7	0.00002	44	0.012	830,000	0.8182	5.1163	1358.1818	265.4612	23.2550	94340.63	42,537,888	31.8805
2200	2203	0	1394	0	0	0.00002	134	0.037	830,000	0.8416	0.0000	445.9701	0.0000	0.0000	0.00	42,537,888	0.0000
	2204	1000	1392	204	4	0.00002	95	0.026	830,000	0.8400	1.0286	629.0526	611.5789	4.4608	18096.50	42,537,888	13.8380
	2204	2000	1390	206	8.4	0.00002	80	0.022	830,000	0.8388	2.1843	747.0000	341.9837	9.4688	38413.01	42,537,888	24.7469
	2205	3000	1388	209	13	0.00002	58	0.016	830,000	0.8372	3.4362	1030.3448	299.8485	14.8957	60428.78	42,537,888	28.2244
	2201	4000	1383	205	17.2	0.00002	47	0.013	830,000	0.8357	4.4674	1271.4894	284.6169	19.3569	78526.85	42,537,888	29.7349
	2203	5000	1383	202	21.3	0.00002	40	0.011	830,000	0.8349	5.4563	1494.0000	273.8138	23.6846	96083.73	42,537,888	30.9080

### 3.2 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BA1

Putaran Engine (rpm)		Beban (watt)	Putaran Alumin. (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m³)	Waktu (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/m³)	Eff. Slip (%)	Daya (Kw)	FCR (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m²)	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
Kontrol	Aktual			Teg. (V)	Arus (A)												
1800	1800	0	1137	0	0	0.00002	151	0.0419	885000	0.8401	0.0000	421.9868	0.0000	0.0000	0.00	43,507,830	0.0000
	1802	1000	1138	152	3.4	0.00002	121	0.0336	885000	0.8399	0.6515	526.6116	808.3202	3.4580	14028.43	43,507,830	10.2365
	1803	2000	1138	159	7.2	0.00002	97	0.0269	885000	0.8395	1.4440	656.9072	454.9346	7.6558	31058.10	43,507,830	18.1880
	1800	3000	1136	160	11.2	0.00002	80	0.0222	885000	0.8394	2.2605	796.5000	352.3560	11.9784	48594.05	43,507,830	23.4830
	1802	4000	1135	160	15	0.00002	59	0.0164	885000	0.8377	3.0335	1080.0000	356.0259	16.1013	65319.72	43,507,830	23.2409
	1802	5000	1134	162	17.8	0.00002	57	0.0158	885000	0.8370	3.6479	1117.8947	306.4448	19.3413	78463.66	43,507,830	27.0012
1900	1900	0	1198	0	0	0.00002	148	0.0411	885000	0.8386	0.0000	430.5405	0.0000	0.0000	0.00	43,507,830	0.0000
	1901	1000	1199	162	3.5	0.00002	103	0.0286	885000	0.8389	0.7157	618.6408	864.4116	3.5988	14599.53	43,507,830	9.5723
	1901	2000	1197	170	7.5	0.00002	91	0.0253	885000	0.8375	1.6120	700.2198	434.3745	8.1018	32867.20	43,507,830	19.0489
	1900	3000	1196	172	11.6	0.00002	67	0.0186	885000	0.8372	2.5234	951.0448	376.8948	12.6821	51448.58	43,507,830	21.9541
	1903	4000	1197	171	15.5	0.00002	59	0.0164	885000	0.8366	3.3546	1080.0000	321.9433	16.8687	68432.98	43,507,830	25.7013
	1903	5000	1196	167	19.3	0.00002	52	0.0144	885000	0.8359	4.0828	1225.3846	300.1367	20.4977	83155.16	43,507,830	27.5687
2000	2003	0	1267	0	0	0.00002	144	0.0400	885000	0.8413	0.0000	442.5000	0.0000	0.0000	0.00	43,507,830	0.0000
	2003	1000	1265	178	3.6	0.00002	102	0.0283	885000	0.8400	0.8078	624.7059	773.3761	3.8530	15630.71	43,507,830	10.6990
	2003	2000	1265	182	7.8	0.00002	89	0.0247	885000	0.8400	1.7895	715.9551	400.0897	8.5357	34627.58	43,507,830	20.6813
	2002	3000	1263	185	12	0.00002	65	0.0181	885000	0.8391	2.8015	980.3077	349.9264	13.3628	54210.00	43,507,830	23.6460
	2002	4000	1261	182	16.5	0.00002	58	0.0161	885000	0.8377	3.7956	1098.6207	289.4486	18.1136	73483.00	43,507,830	28.5867
	2003	5000	1253	184	19.2	0.00002	51	0.0142	885000	0.8320	4.4959	1249.4118	277.8976	21.4560	87042.53	43,507,830	29.7749
2100	2101	0	1319	0	0	0.00002	139	0.0386	885000	0.8350	0.0000	458.4173	0.0000	0.0000	0.00	43,507,830	0.0000
	2101	1000	1326	189	3.8	0.00002	110	0.0306	885000	0.8394	0.9059	579.2727	639.4156	4.1197	16712.77	43,507,830	12.9405
	2102	2000	1327	200	8.3	0.00002	86	0.0239	885000	0.8396	2.0933	740.9302	353.9448	9.5194	38618.06	43,507,830	23.3776
	2101	3000	1322	201	12.7	0.00002	68	0.0189	885000	0.8369	3.2297	937.0588	290.1353	14.6800	59553.64	43,507,830	28.5190
	2101	4000	1321	199	16.9	0.00002	58	0.0161	885000	0.8362	4.2583	1098.6207	257.9959	19.3642	78556.76	43,507,830	32.0717
	2101	5000	1320	193	20.9	0.00002	49	0.0136	885000	0.8356	5.1113	1300.4082	254.4205	23.2431	94292.31	43,507,830	32.5224
2200	2201	0	1387	0	0	0.00002	132	0.0367	885000	0.8633	0.0000	482.7273	0.0000	0.0000	0.00	43,507,830	0.0000
	2201	1000	1386	203	4	0.00002	94	0.0261	885000	0.8627	0.9966	677.8723	680.1928	4.3260	17549.73	43,507,830	12.1647
	2201	2000	1387	208	8.5	0.00002	86	0.0239	885000	0.8633	2.1683	740.9302	341.7027	9.4124	38184.18	43,507,830	24.2151
	2201	3000	1386	213	13	0.00002	61	0.0169	885000	0.8627	3.3985	1044.5902	307.3712	14.7521	59846.32	43,507,830	26.9198
	2201	4000	1383	208	17.3	0.00002	51	0.0142	885000	0.8608	4.4260	1249.4118	282.2899	19.2124	77940.82	43,507,830	29.3116
	2201	5000	1383	207	21.5	0.00002	42	0.0117	885000	0.8608	5.4741	1517.1429	277.1512	23.7619	96397.18	43,507,830	29.8551

### 3.3 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BA2

Putaran Engine (rpm)		Beban (watt)	Putaran Alumin (Rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/m³)	Eff. Slip (%)	Daya (Kw)	FCR (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m²)	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
kontrol	aktual			Teg. (V)	Arus (A)												
1800	1801	0	1135	0	0	0.00002	150	0.042	885000	0.8382	0.0000	424.8000	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	1801	1000	1137	150	3.3	0.00002	120	0.033	885000	0.8397	0.6242	530.9115	850.5341	3.3114	13433.57	43507830	9.7284
	1803	2000	1138	159	7.2	0.00002	95	0.026	885000	0.8395	1.4440	670.7368	464.5122	7.6516	31040.88	43507830	17.8130
	1801	3000	1135	161	11.2	0.00002	78	0.022	885000	0.8382	2.2779	816.9231	358.6307	12.0840	49022.41	43507830	23.0721
	1804	4000	1135	160	14.9	0.00002	63	0.018	885000	0.8368	3.0166	1011.4286	335.2867	15.9762	64812.24	43507830	24.6785
	1802	4500	1133	156	18.5	0.00002	54	0.015	885000	0.8362	3.6542	1180.0000	322.9155	19.3745	78598.28	43507830	25.6240
1900	1801	0	1203	0	0	0.00002	150	0.042	885000	0.8884	0.0000	424.8000	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	1801	1000	1202	163	3.5	0.00002	118	0.033	885000	0.8877	0.6805	540.0000	793.5183	3.6101	14645.28	43507830	10.4275
	1803	2000	1201	170	7.5	0.00002	92	0.026	885000	0.8859	1.5238	692.6087	454.5201	8.0837	32794.11	43507830	18.2046
	1801	3000	1200	172	11.6	0.00002	68	0.019	885000	0.8862	2.3839	937.0588	393.0755	12.6324	51247.16	43507830	21.0503
	1804	4000	1199	171	15.4	0.00002	60	0.017	885000	0.8840	3.1543	1062.0000	336.6808	16.7334	67883.95	43507830	24.5763
	1802	5000	1198	168	19.3	0.00002	53	0.015	885000	0.8842	3.8827	1202.2642	309.6445	20.5632	83420.86	43507830	26.7222
2000	2000	0	1263	0	0	0.00002	142	0.039	885000	0.8399	0.0000	448.7324	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2000	1000	1261	176	3.6	0.00002	103	0.029	885000	0.8386	0.8000	618.6408	773.2795	3.8218	15504.11	43507830	10.7004
	2001	2000	1260	181	7.8	0.00002	88	0.024	885000	0.8375	1.7849	724.0909	405.6686	8.5267	34591.26	43507830	20.3969
	2000	3000	1260	184	12	0.00002	66	0.018	885000	0.8379	2.7902	965.4545	346.0201	13.3222	54045.32	43507830	23.9130
	2003	4000	1261	183	16	0.00002	55	0.015	885000	0.8373	3.7026	1158.5455	312.8990	17.6877	71755.23	43507830	26.4442
	2002	5000	1258	178	19.9	0.00002	50	0.014	885000	0.8357	4.4877	1274.4000	283.9732	21.4062	86840.47	43507830	29.1379
2100	2101	0	1328	0	0	0.00002	138	0.038	885000	0.8407	0.0000	461.7391	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2101	1000	1329	190	3.8	0.00002	101	0.028	885000	0.8413	0.9087	630.8911	694.2952	4.1321	16763.27	43507830	11.9177
	2100	2000	1323	193	8.1	0.00002	86	0.024	885000	0.8379	1.9755	740.9302	375.0625	8.9834	36443.69	43507830	22.0613
	2100	3000	1323	196	12.5	0.00002	66	0.018	885000	0.8379	3.0960	965.4545	311.8418	14.0854	57141.66	43507830	26.5339
	2103	4000	1321	194	16.6	0.00002	59	0.016	885000	0.8354	4.0815	1080.0000	264.6096	18.5691	75330.98	43507830	31.2701
	2100	5000	1322	195	20.5	0.00002	49	0.014	885000	0.8373	5.0553	1300.4082	257.2358	22.9668	93171.62	43507830	32.1665
2200	2200	0	1389	0	0	0.00002	129	0.036	885000	0.8397	0.0000	493.9535	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2200	1000	1389	203	3.9	0.00002	104	0.029	885000	0.8397	0.9983	612.6923	613.7470	4.3353	17587.54	43507830	13.4817
	2201	2000	1387	206	8.4	0.00002	84	0.023	885000	0.8381	2.1861	758.5714	347.0040	9.4936	38513.59	43507830	23.8452
	2203	3000	1388	208	12.9	0.00002	62	0.017	885000	0.8380	3.3904	1027.7419	303.1336	14.7171	59704.17	43507830	27.2961
	2200	4000	1380	205	17.2	0.00002	50	0.014	885000	0.8343	4.4750	1274.4000	284.7790	19.4077	78733.22	43507830	29.0554
	2202	5000	1382	200	21.2	0.00002	44	0.012	885000	0.8347	5.3783	1448.1818	269.2626	23.3569	94754.33	43507830	30.7298



### 3.4 Tabel Hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BBI

Putaran Engine (rpm)		Beban (watt)	Putaran Alumin (Rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Wak (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/m³)	Eff. Slip (%)	Daya (Kw)	FCR (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m²)	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
Kontrol	Aktual			Teg. (V)	Arus (A)												
1800	1802	0	1139	0	0	0.00002	160	0.0444	885000	0.8407	0.0000	398.2500	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	1801	1000	1137	150	3.3	0.00002	135	0.0375	885000	0.8397	0.6242	472.0000	756.1564	3.3114	13433.57	43507830	10.9427
	1800	2000	1134	159	7.2	0.00002	100	0.0278	885000	0.8379	1.4466	637.2000	440.4684	7.6786	31150.37	43507830	18.7854
	1800	3000	1133	162	11.1	0.00002	70	0.0194	885000	0.8372	2.2743	910.2857	400.2443	12.0718	48972.77	43507830	20.6733
	1804	4000	1135	160	14.9	0.00002	60	0.0167	885000	0.8368	3.0166	1062.0000	352.0511	15.9762	64812.24	43507830	23.5033
	1801	5000	1132	156	18.5	0.00002	50	0.0139	885000	0.8360	3.6554	1274.4000	348.6344	19.3916	78667.71	43507830	23.7337
1900	1901	0	1200	0	0	0.00002	142	0.0394	885000	0.8396	0.0000	448.7324	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	1900	1000	1199	162	3.5	0.00002	119	0.0331	885000	0.8393	0.7153	535.4622	748.5820	3.5969	14591.85	43507830	11.0534
	1901	2000	1198	169	7.5	0.00002	90	0.0250	885000	0.8382	1.6012	708.0000	442.1688	8.0474	32646.59	43507830	18.7132
	1900	3000	1165	171	11.6	0.00002	72	0.0200	885000	0.8155	2.5755	885.0000	343.6288	12.9507	52538.15	43507830	24.0794
	1903	4000	1197	170	15.4	0.00002	58	0.0161	885000	0.8366	3.3135	1098.6207	331.5596	16.6356	67487.31	43507830	24.9559
	1902	5000	1195	169	19.3	0.00002	53	0.0147	885000	0.8356	4.1329	1202.2642	290.8984	20.7606	84221.45	43507830	28.4442
2000	2001	0	1263	0	0	0.00002	138	0.0383	885000	0.8395	0.0000	461.7391	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2001	1000	1261	177	3.6	0.00002	103	0.0286	885000	0.8381	0.8050	618.6408	768.5265	3.8435	15592.20	43507830	10.7665
	2000	2000	1262	182	7.8	0.00002	86	0.0239	885000	0.8392	1.7911	740.9302	413.6840	8.5560	34709.89	43507830	20.0017
	2000	3000	1261	184	12	0.00002	65	0.0181	885000	0.8386	2.7880	980.3077	351.6224	13.3183	54029.46	43507830	23.5320
	2002	4000	1261	183	16.1	0.00002	55	0.0153	885000	0.8377	3.7239	1158.5455	311.1109	17.7716	72095.56	43507830	26.5962
	2003	5000	1257	179	20	0.00002	48	0.0133	885000	0.8347	4.5415	1327.5000	292.3034	21.6626	87880.88	43507830	28.3075
2100	2103	0	1329	0	0	0.00002	130	0.0361	885000	0.8405	0.0000	490.1538	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2100	1000	1327	189	3.8	0.00002	103	0.0286	885000	0.8404	0.9048	618.6408	683.7114	4.1166	16700.18	43507830	12.1021
	2103	2000	1325	194	8.1	0.00002	85	0.0236	885000	0.8380	1.9856	749.6471	377.5502	9.0206	36594.64	43507830	21.9160
	2101	3000	1323	196	12.5	0.00002	64	0.0178	885000	0.8375	3.0974	995.6250	321.4338	14.0854	57141.66	43507830	25.7421
	2103	4000	1322	194	16.6	0.00002	58	0.0161	885000	0.8361	4.0784	1098.6207	269.3756	18.5286	75166.61	43507830	30.7169
	2103	5000	1321	195	20.5	0.00002	48	0.0133	885000	0.8354	5.0664	1327.5000	262.0219	23.0170	93375.36	43507830	31.5789
2200	2201	0	1391	0	0	0.00002	126	0.0350	885000	0.8405	0.0000	505.7143	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2200	1000	1388	204	3.9	0.00002	93	0.0258	885000	0.8391	1.0039	685.1613	682.4846	4.3598	17686.91	43507830	12.1239
	2201	2000	1387	207	8.4	0.00002	84	0.0233	885000	0.8381	2.1967	758.5714	345.3276	9.5354	38682.97	43507830	23.9609
	2201	3000	1386	209	12.9	0.00002	60	0.0167	885000	0.8375	3.4085	1062.0000	311.5730	14.7957	60023.23	43507830	26.5568
	2200	4000	1382	207	17.2	0.00002	46	0.0128	885000	0.8355	4.5122	1385.2174	306.9959	19.5954	79494.55	43507830	26.9527
	2203	5000	1385	205	21.4	0.00002	41	0.0114	885000	0.8362	5.5553	1554.1463	279.7613	24.0925	97738.23	43507830	29.5765

### 3.5 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BB2

Putaran Engine (rpm)		Beban (Watt)	Put Alumi (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m <sup>3</sup> )	Waktu (Detik)	Waktu (Jam)	Densitas (gr/m <sup>3</sup> )	Eff. Slip (%)	Daya (KW)	FCR (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP N/m <sup>2</sup>	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
Kontrol	Aktual			Teg. (V)	Arus (A)												
1800	1802	0	1140	0	0	0.00002	160	0.0444	885000	0.8414	0.0000	398.250	0	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	1800	1000	1139	158	4.3	0.00002	137	0.0381	885000	0.8416	0.6054	465.109	768.2511	3.2134	13036.29	43507830	10.7704
	1803	2000	1138	168	9.7	0.00002	102	0.0283	885000	0.8395	1.4484	624.706	431.2934	7.6754	31137.36	43507830	19.1850
	1800	3000	1139	168	13.8	0.00002	73	0.0203	885000	0.8416	2.0659	872.877	422.5111	10.9656	44485.35	43507830	19.5838
	1801	4000	1138	180	18.8	0.00002	64	0.0178	885000	0.8404	3.0112	995.625	330.6448	15.9739	64803.00	43507830	25.0250
	1801	5000	1136	196	20.8	0.00002	55	0.0153	885000	0.8389	3.6213	1158.545	319.9292	19.2104	77932.79	43507830	25.8631
1900	1901	0	1215	0	0	0.00002	145	0.0403	885000	0.8501	0.0000	439.4483	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	1900	1000	1210	170	4.6	0.00002	117	0.0325	885000	0.8470	0.7013	544.6154	776.5620	3.5266	14306.55	43507830	10.6551
	1900	2000	1200	175	9.8	0.00002	82	0.0228	885000	0.8400	1.5253	777.0732	509.4422	7.6702	31116.31	43507830	16.2420
	1900	3000	1199	185	14.2	0.00002	69	0.0192	885000	0.8393	2.3345	923.4783	395.5722	11.7392	47623.57	43507830	20.9175
	1901	4000	1192	195	17.8	0.00002	61	0.0169	885000	0.8340	3.0650	1044.5902	340.8176	15.4040	62490.87	43507830	24.2780
2000	1901	5000	1190	215	21.6	0.00002	49	0.0136	885000	0.8326	4.0939	1300.4082	317.6489	20.5751	83468.93	43507830	26.0488
	2000	0	1282	0	0	0.00002	136	0.0378	885000	0.8525	0.0000	468.5294	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2001	1000	1278	172	5.2	0.00002	105	0.0292	885000	0.8494	0.8044	606.8571	754.3896	3.8409	15581.83	43507830	10.9683
	2001	2000	1276	193	10.2	0.00002	88	0.0244	885000	0.8481	1.7678	724.0909	409.5970	8.4407	34242.38	43507830	20.2013
	2000	3000	1274	198	14.2	0.00002	73	0.0203	885000	0.8472	2.5221	872.8767	346.0865	12.0484	48877.94	43507830	23.9084
	2000	4000	1272	200	18	0.00002	60	0.0167	885000	0.8459	3.2243	1062.0000	329.3743	15.4027	62485.54	43507830	25.1215
2100	2000	5000	1270	218	23.2	0.00002	51	0.0142	885000	0.8446	4.5227	1249.4118	276.2563	21.6050	87647.21	43507830	29.9518
	2103	0	1334	0	0	0.00002	124	0.0344	885000	0.8437	0.0000	513.8710	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2101	1000	1330	192	4.1	0.00002	119	0.0331	885000	0.8419	0.7018	535.4622	763.0323	3.1912	12945.97	43507830	10.8441
	2100	2000	1330	200	9.8	0.00002	98	0.0272	885000	0.8423	1.7481	650.2041	371.9513	7.9531	32264.06	43507830	22.2459
	2100	3000	1329	206	14.8	0.00002	76	0.0211	885000	0.8417	2.7171	838.4211	308.5690	12.3618	50149.34	43507830	26.8153
	2101	4000	1327	208	19.2	0.00002	66	0.0183	885000	0.8400	3.5521	965.4545	271.7986	16.1529	65528.96	43507830	30.4430
2200	2101	5000	1325	218	24.8	0.00002	52	0.0144	885000	0.8388	4.8015	1225.3846	255.2109	21.8343	88577.18	43507830	32.4217
	2200	0	1439	0	0	0.00002	122	0.0339	885000	0.8699	0.0000	522.2951	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2200	1000	1437	202	5.4	0.00002	93	0.0258	885000	0.8687	1.0034	685.1613	682.8705	4.3574	17676.91	43507830	12.1170
	2200	2000	1435	204	11.6	0.00002	86	0.0239	885000	0.8675	2.1737	740.9302	340.8668	9.4398	38295.22	43507830	24.2745
	2203	3000	1432	208	15.8	0.00002	64	0.0178	885000	0.8645	3.0083	995.6250	330.9570	13.0467	52927.86	43507830	25.0013
	2200	4000	1430	214	20.8	0.00002	54	0.0150	885000	0.8645	4.0744	1180.0000	289.6118	17.6944	71782.35	43507830	28.5706
2200	2200	5000	1428	219	27.5	0.00002	41	0.0114	885000	0.8633	5.5050	1554.1463	282.3153	23.9071	96986.11	43507830	29.3090

3.6 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BC1

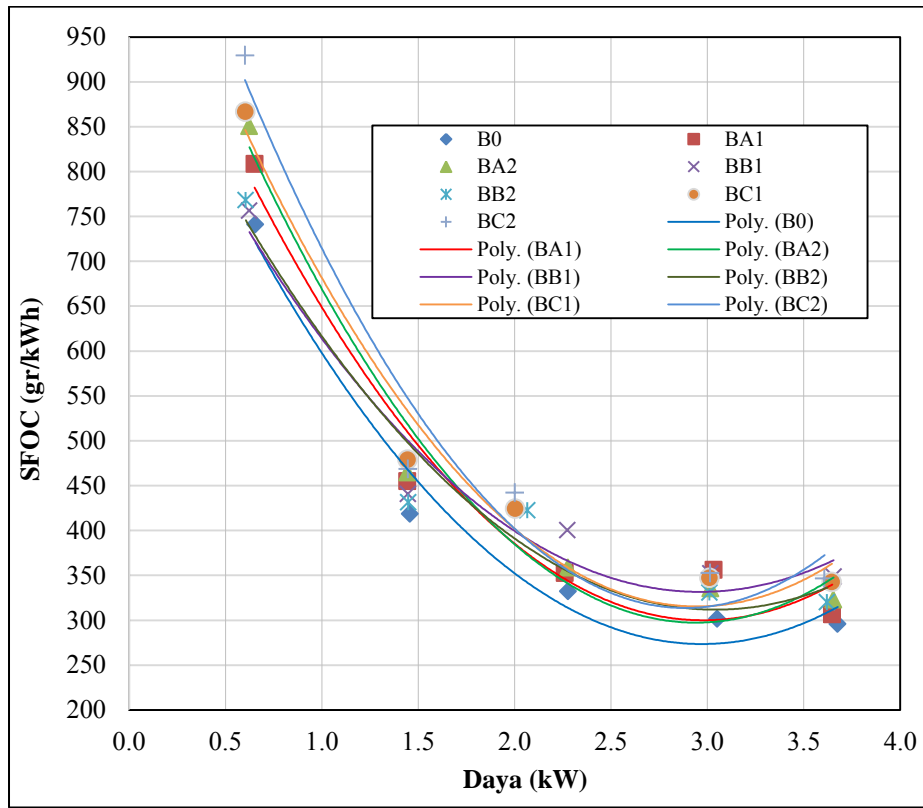
Putaran Engine (rpm)		Beban (Watt)	Put. Alumi. (rpm)	Alternator		Volume B. B (m³)	Wak (Det)	Wak (Jam)	Densitas (gr/m³)	Eff. Slip (%)	Daya (KW)	FCR (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP N/m²	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
Kontrol	Aktual			Teg (V)	Arus (A)												
1800	1801	0	1146	0	0	0.00002	144	0.0400	885000	0.8463	0.0000	442.500	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	1801	1000	1142	157	4.3	0.00002	122	0.0339	885000	0.8433	0.6028	522.295	866.4035	3.1980	12973.49	43507830	9.5503
	1801	2000	1140	169	9.6	0.00002	92	0.0256	885000	0.8419	1.4462	692.609	478.9207	7.6719	31123.27	43507830	17.2771
	1801	3000	1138	168	13.4	0.00002	75	0.0208	885000	0.8404	2.0032	849.600	424.1277	10.6266	43110.08	43507830	19.5092
	1800	4000	1137	181	18.7	0.00002	61	0.0169	885000	0.8401	3.0108	1044.590	346.9465	15.9809	64831.42	43507830	23.8491
	1801	5000	1135	192	21.4	0.00002	51	0.0142	885000	0.8382	3.6465	1249.412	342.6362	19.3442	78475.37	43507830	24.1492
1900	1900	0	1208	0	0	0.00002	141	0.0392	885000	0.8456	0.0000	451.9149	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	1901	1000	1206	171	4.6	0.00002	116	0.0322	885000	0.8438	0.7027	549.3103	781.6700	3.5319	14328.04	43507830	10.5855
	1901	2000	1202	178	8.6	0.00002	90	0.0250	885000	0.8410	1.3631	708.0000	519.4183	6.8506	27791.28	43507830	15.9301
	1900	3000	1200	182	13.6	0.00002	70	0.0194	885000	0.8400	2.2015	910.2857	413.4896	11.0701	44909.09	43507830	20.0111
	1900	4000	1198	190	17.8	0.00002	58	0.0161	885000	0.8386	3.0030	1098.6207	365.8438	15.1005	61259.45	43507830	22.6172
	1902	5000	1200	210	21.8	0.00002	50	0.0139	885000	0.8391	4.0674	1274.4000	313.3170	20.4316	82886.90	43507830	26.4089
2000	2001	0	1268	0	0	0.00002	140	0.0389	885000	0.8428	0.0000	455.1429	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2001	1000	1267	188	4.6	0.00002	102	0.0283	885000	0.8421	0.7711	624.7059	810.1308	3.6818	14936.47	43507830	10.2136
	2001	2000	1265	191	9.6	0.00002	94	0.0261	885000	0.8408	1.6324	677.8723	415.2644	7.7941	31619.20	43507830	19.9256
	2001	3000	1262	197	13.2	0.00002	78	0.0217	885000	0.8388	2.3096	816.9231	353.7150	11.0274	44735.80	43507830	23.3928
	2001	4000	1260	196	18.4	0.00002	63	0.0175	885000	0.8375	3.1980	1011.4286	316.2734	15.2692	61944.13	43507830	26.1621
	2001	5000	1260	216	23.8	0.00002	48	0.0133	885000	0.8375	4.5586	1327.5000	291.2092	21.7658	88299.24	43507830	28.4138
2100	2101	0	1330	0	0	0.00002	139	0.0386	885000	0.8419	0.0000	458.4173	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2101	1000	1327	192	4.6	0.00002	110	0.0306	885000	0.8400	0.7856	579.2727	737.4013	3.5723	14491.98	43507830	11.2210
	2101	2000	1326	195	9.2	0.00002	100	0.0278	885000	0.8394	1.5945	637.2000	399.6323	7.2507	29414.66	43507830	20.7050
	2101	3000	1324	197	13.8	0.00002	71	0.0197	885000	0.8381	2.4126	897.4648	371.9932	10.9710	44507.28	43507830	22.2433
	2100	4000	1320	202	18.2	0.00002	72	0.0200	885000	0.8360	3.2543	885.0000	271.9510	14.8056	60063.14	43507830	30.4260
	2101	5000	1319	216	25.8	0.00002	50	0.0139	885000	0.8350	4.9268	1274.4000	258.6654	22.4044	90889.99	43507830	31.9887
2200	2201	0	1396	0	0	0.00002	118	0.0328	885000	0.8436	0.0000	540.0000	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2202	1000	1394	209	5.4	0.00002	93	0.0258	885000	0.8420	1.0061	685.1613	680.9764	4.3655	17709.98	43507830	12.1507
	2200	2000	1392	214	10.6	0.00002	82	0.0228	885000	0.8415	2.0212	777.0732	384.4594	8.7777	35609.30	43507830	21.5221
	2201	3000	1390	216	15.8	0.00002	58	0.0161	885000	0.8399	3.0352	1098.6207	361.9653	13.1751	53448.49	43507830	22.8596
	2200	4000	1388	217	20.8	0.00002	52	0.0144	885000	0.8391	4.0102	1225.3846	305.5676	17.4154	70650.80	43507830	27.0787
	2200	5000	1386	219	27.8	0.00002	42	0.0117	885000	0.8379	5.4014	1517.1429	280.8806	23.4571	95160.49	43507830	29.4587

### 3.7 Tabel hasil pengolahan data performa *engine* dengan jenis bahan bakar BC2

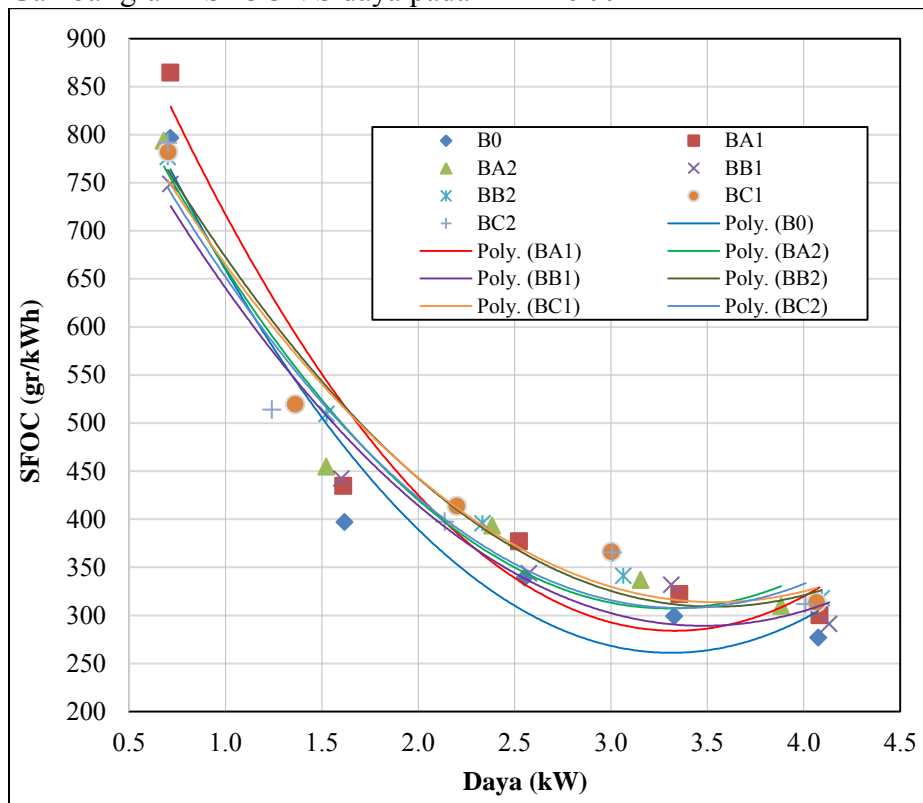
Putaran Engine (rpm)		Beban (Watt)	Putaran Alumi (rpm)	Alternator		Volume B. B (m <sup>3</sup> )	Wak (Det)	Wak (Jam)	Densitas (gr/m <sup>3</sup> )	Eff. Slip (%)	Daya (KW)	FCR (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP N/m <sup>2</sup>	LHV (J/kg)	Eff. Thermal (%)
Kontrol	Aktual			Teg (V)	Arus (A)												
1800	1801	0	1140	0	0	0.00002	163	0.0453	885000	0.8419	0.0000	390.9202	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	1801	1000	1139	157	4.3	0.00002	114	0.0317	885000	0.8411	0.6012	558.9474	929.6459	3.1896	12939.41	43507830	8.9006
	1801	2000	1138	166	9.8	0.00002	94	0.0261	885000	0.8404	1.4476	677.8723	468.2847	7.6792	31152.93	43507830	17.6695
	1801	3000	1136	167	13.5	0.00002	72	0.0200	885000	0.8389	2.0026	885.0000	441.9297	10.6235	43097.40	43507830	18.7233
	1802	4000	1135	177	19.2	0.00002	60	0.0167	885000	0.8377	3.0143	1062.0000	352.3171	15.9819	64835.18	43507830	23.4856
	1800	5000	1133	192	21.2	0.00002	51	0.0142	885000	0.8372	3.6080	1249.4118	346.2867	19.1509	77691.21	43507830	23.8946
1900	1901	0	1206	0	0	0.00002	157	0.0436	885000	0.8438	0.0000	405.8599	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	1901	1000	1204	167	4.7	0.00002	115	0.0319	885000	0.8424	0.7001	554.0870	791.4874	3.5184	14273.37	43507830	10.4542
	1902	2000	1202	170	8.2	0.00002	100	0.0278	885000	0.8405	1.2406	637.2000	513.6222	6.2318	25281.11	43507830	16.1098
	1900	3000	1200	173	13.9	0.00002	75	0.0208	885000	0.8400	2.1388	849.6000	397.2379	10.7548	43629.96	43507830	20.8298
	1900	4000	1200	189	17.9	0.00002	58	0.0161	885000	0.8400	3.0090	1098.6207	365.1153	15.1306	61381.68	43507830	22.6624
	1901	5000	1199	198	22.8	0.00002	51	0.0142	885000	0.8389	4.0097	1249.4118	311.5970	20.1522	81753.23	43507830	26.5547
2000	2000	0	1274	0	0	0.00002	130	0.0361	885000	0.8472	0.0000	490.1538	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2000	1000	1272	179	4.8	0.00002	115	0.0319	885000	0.8459	0.7695	554.0870	720.0312	3.6761	14913.22	43507830	11.4917
	2002	2000	1270	188	9.1	0.00002	102	0.0283	885000	0.8437	1.5283	624.7059	408.7535	7.2936	29588.62	43507830	20.2429
	2000	3000	1268	193	12.8	0.00002	82	0.0228	885000	0.8432	2.2056	777.0732	352.3142	10.5364	42744.13	43507830	23.4858
	2000	4000	1265	197	17.2	0.00002	68	0.0189	885000	0.8412	3.0181	937.0588	310.4820	14.4176	58489.12	43507830	26.6501
	2003	5000	1264	211	24.3	0.00002	49	0.0136	885000	0.8393	4.5565	1300.4082	285.3971	21.7341	88170.60	43507830	28.9925
2100	2101	0	1332	0	0	0.00002	137	0.0381	885000	0.8432	0.0000	465.1095	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2101	1000	1330	191	4.2	0.00002	119	0.0331	885000	0.8419	0.7151	535.4622	748.7647	3.2520	13192.65	43507830	11.0507
	2100	2000	1328	194	8.2	0.00002	110	0.0306	885000	0.8411	1.4167	579.2727	408.8966	6.4453	26147.19	43507830	20.2359
	2100	3000	1326	200	12.6	0.00002	81	0.0225	885000	0.8398	2.2408	786.6667	351.0676	10.1946	41357.61	43507830	23.5692
	2100	4000	1325	215	15.8	0.00002	64	0.0178	885000	0.8392	3.0183	995.6250	329.8591	13.7322	55708.66	43507830	25.0846
	2100	5000	1323	219	25.8	0.00002	48	0.0133	885000	0.8379	5.0128	1327.5000	264.8225	22.8061	92519.86	43507830	31.2450
2200	2200	0	1398	0	0	0.00002	120	0.0333	885000	0.8452	0.0000	531.0000	0.0000	0.0000	0.00	43507830	0.0000
	2202	1000	1397	209	5.4	0.00002	89	0.0247	885000	0.8438	1.0083	715.9551	710.0540	4.3749	17748.09	43507830	11.6532
	2201	2000	1395	211	10.8	0.00002	81	0.0225	885000	0.8430	2.0339	786.6667	386.7721	8.8289	35817.09	43507830	21.3934
	2201	3000	1393	214	15.8	0.00002	62	0.0172	885000	0.8417	3.0135	1027.7419	341.0413	13.0812	53067.89	43507830	24.2621
	2202	4000	1392	217	20.8	0.00002	50	0.0139	885000	0.8408	4.0181	1274.4000	317.1652	17.4339	70725.75	43507830	26.0885
	2202	5000	1390	219	28.5	0.00002	40	0.0111	885000	0.8396	5.5483	1593.0000	287.1138	24.0733	97660.52	43507830	28.8191

#### 4. Grafik SFOC VS Daya Pada Setiap Tingkat Beban Dan Tingkat Putaran

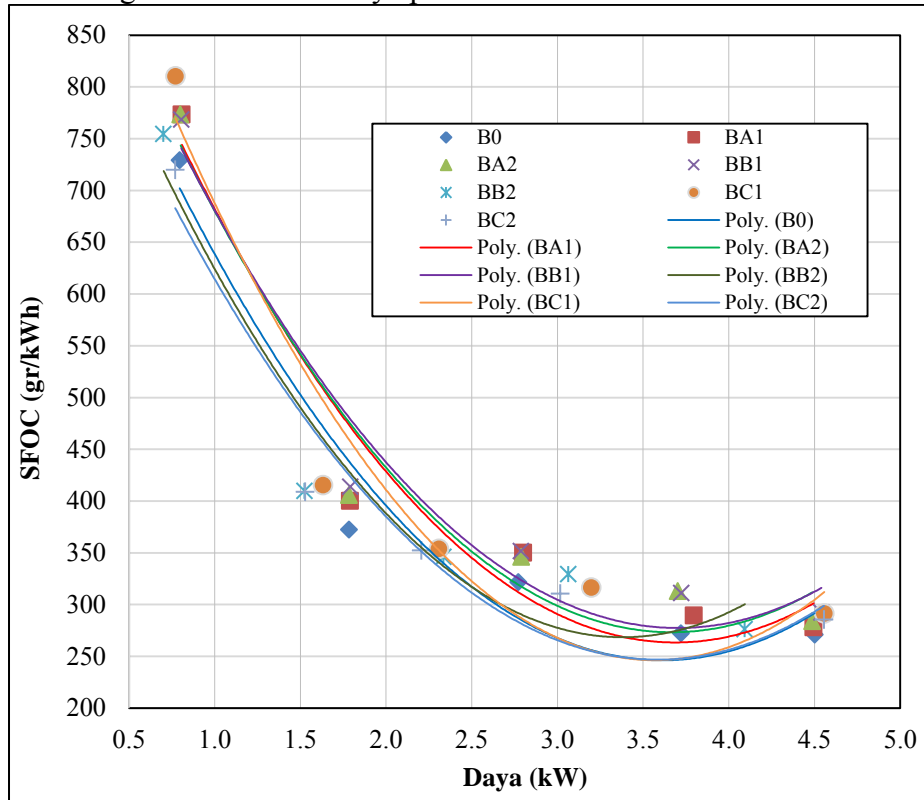
##### 4.1 Gambar grafik SFOC VS daya pada RPM 1800



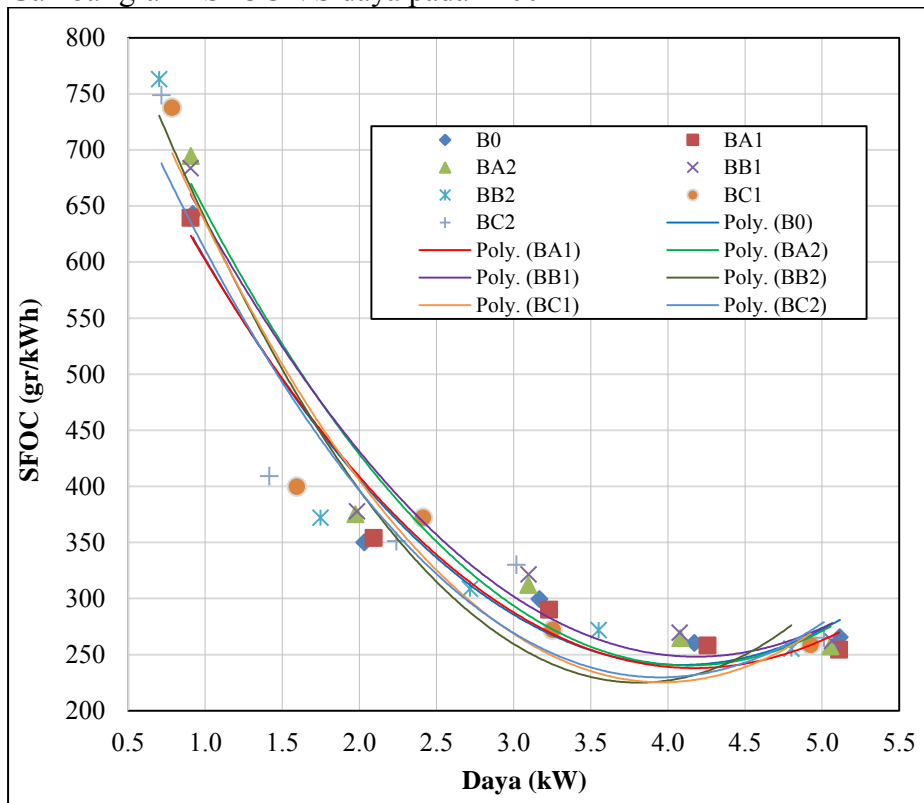
##### 4.2 Gambar grafik SFOC VS daya pada RPM 1900



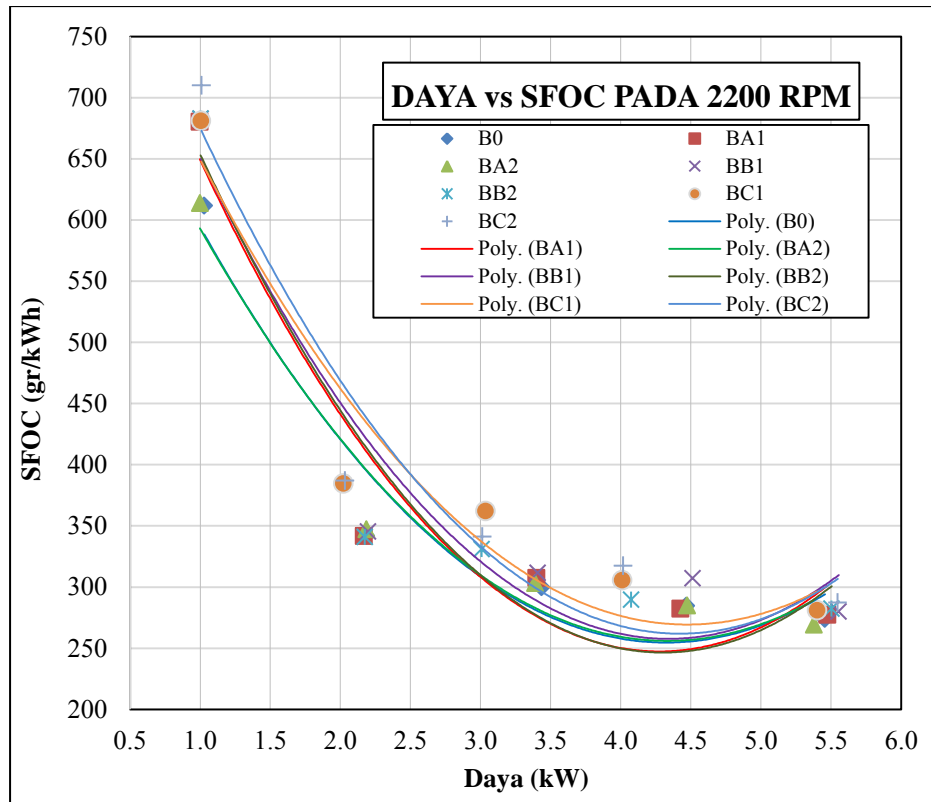
#### 4.3 Gambar grafik SFOC VS daya pada 2000 RPM



#### 4.4 Gambar grafik SFOC VS daya pada 2100 RPM

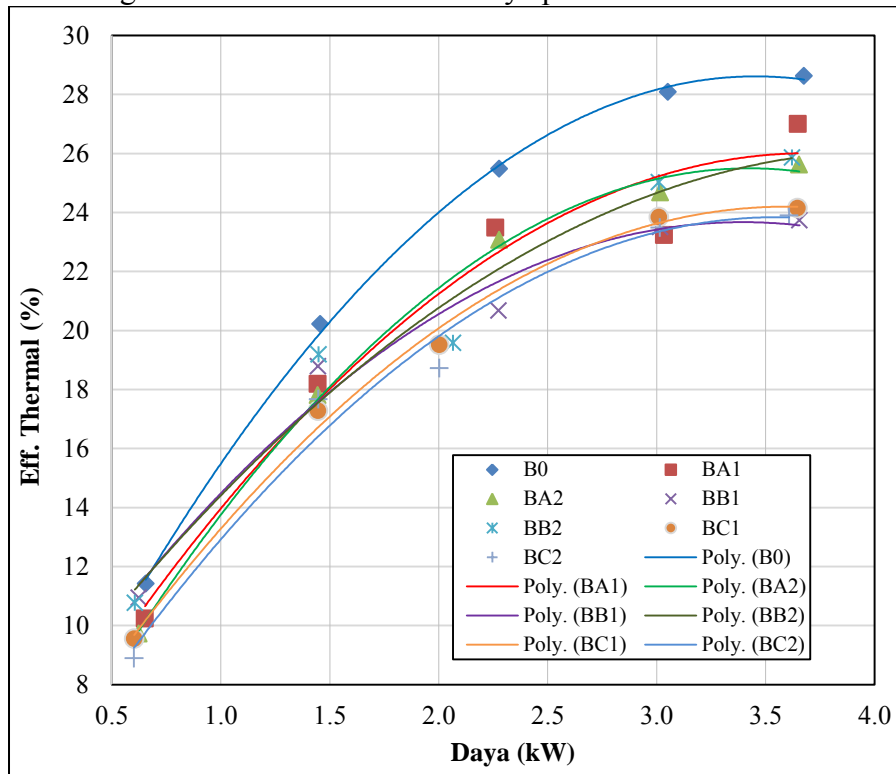


#### 4.5 Gambar grafik SFOC VS daya pada RPM 2200

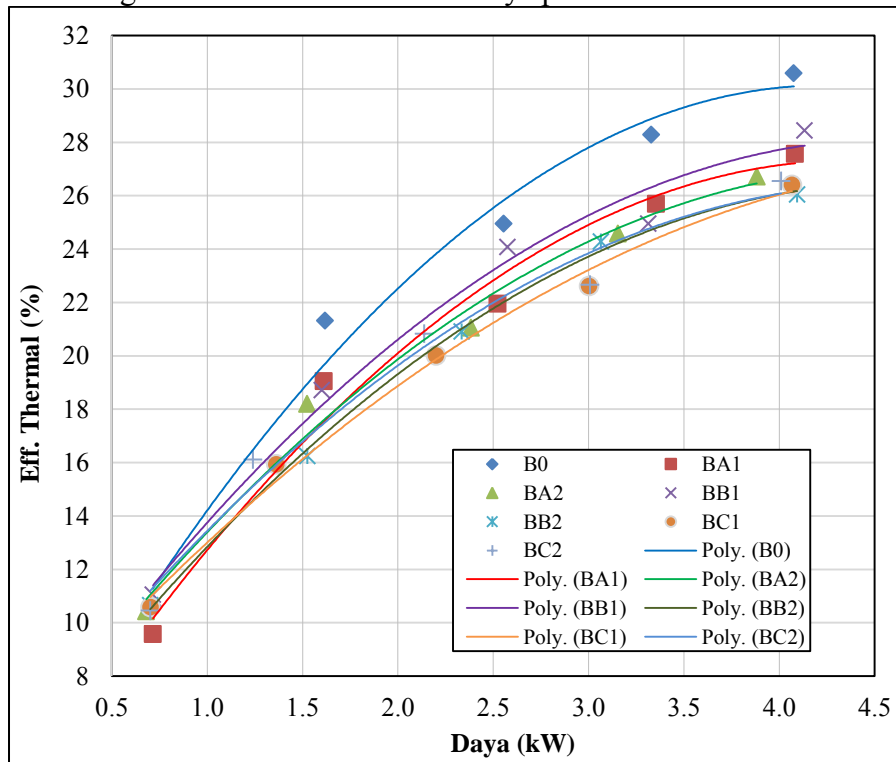


## 5. Gambar Grafik Efisiensi Thermal VS Daya Pada Setiap Tingkat Beban Dan Tingkat Putaran

### 5.1 Gambar grafik efisiensi thermal VS daya pada RPM 1800

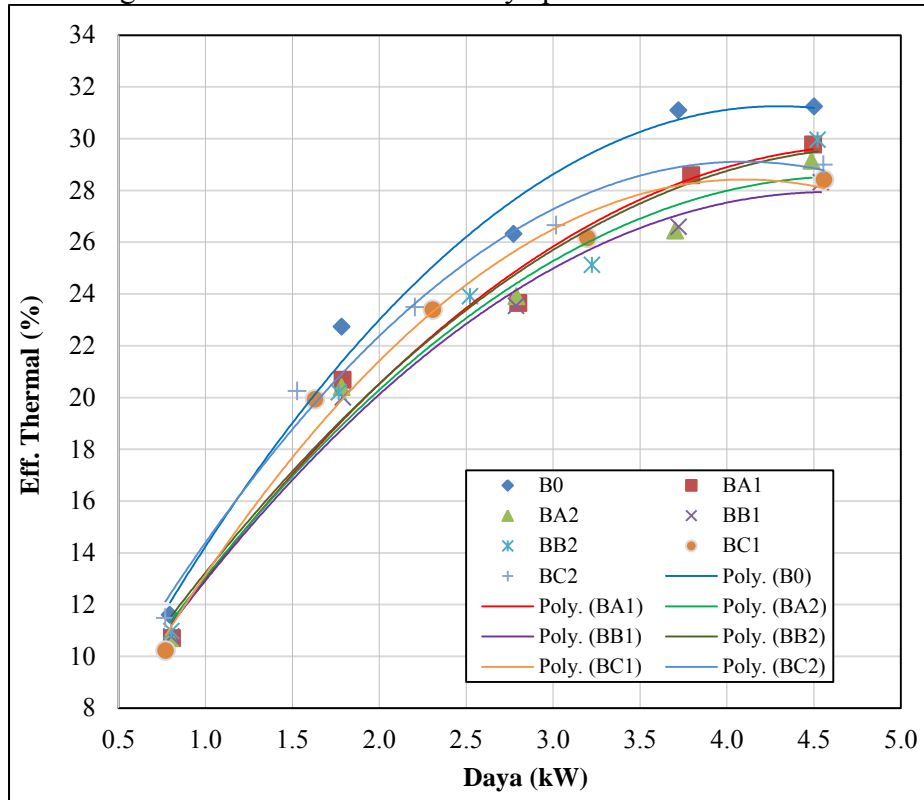


### 5.2 Gambar grafik efisiensi thermal VS daya pada RPM 1900

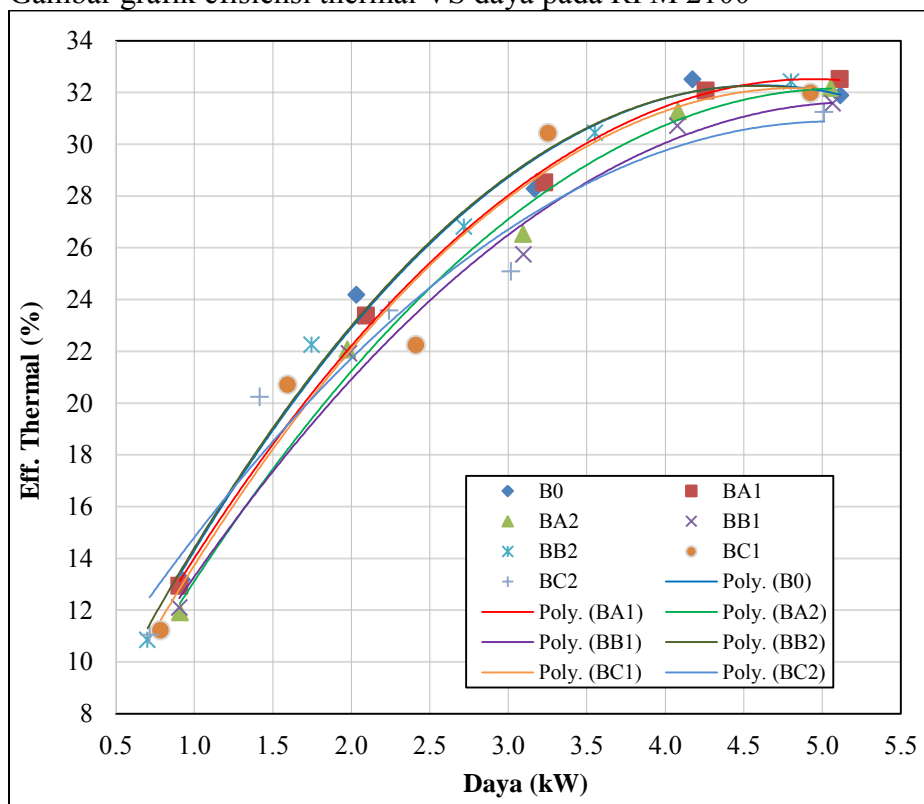




### 5.3 Gambar grafik efisiensi thermal VS daya pada RPM 2000



### 5.4 Gambar grafik efisiensi thermal VS daya pada RPM 2100



5.5 Gambar grafik efisiensi thermal VS daya pada RPM 2200

